

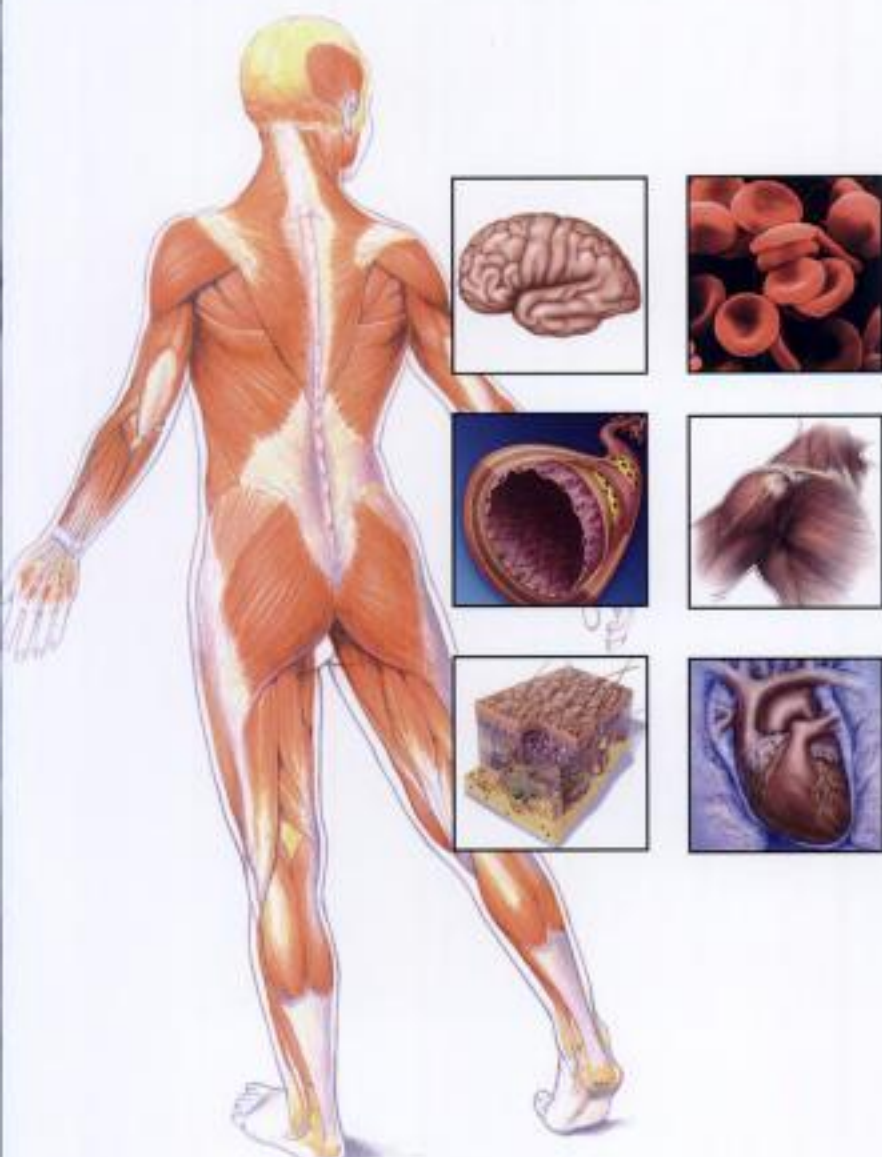
NOUVEAUX CAHIERS DE L'INFIRMIERE

sous la direction de

Léon Perlemuter - Jacques Quevauvilliers - Gabriel Perlemuter - Béatrice Amar - Lucien Aubert - Laurence Pitard

ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE

POUR LES SOINS INFIRMIERS



Coordonné par
L. Perlemuter



4^e édition
tout en couleurs

27

avec à l'intérieur
un cahier d'entraînement

MASSON

Copyrighted material

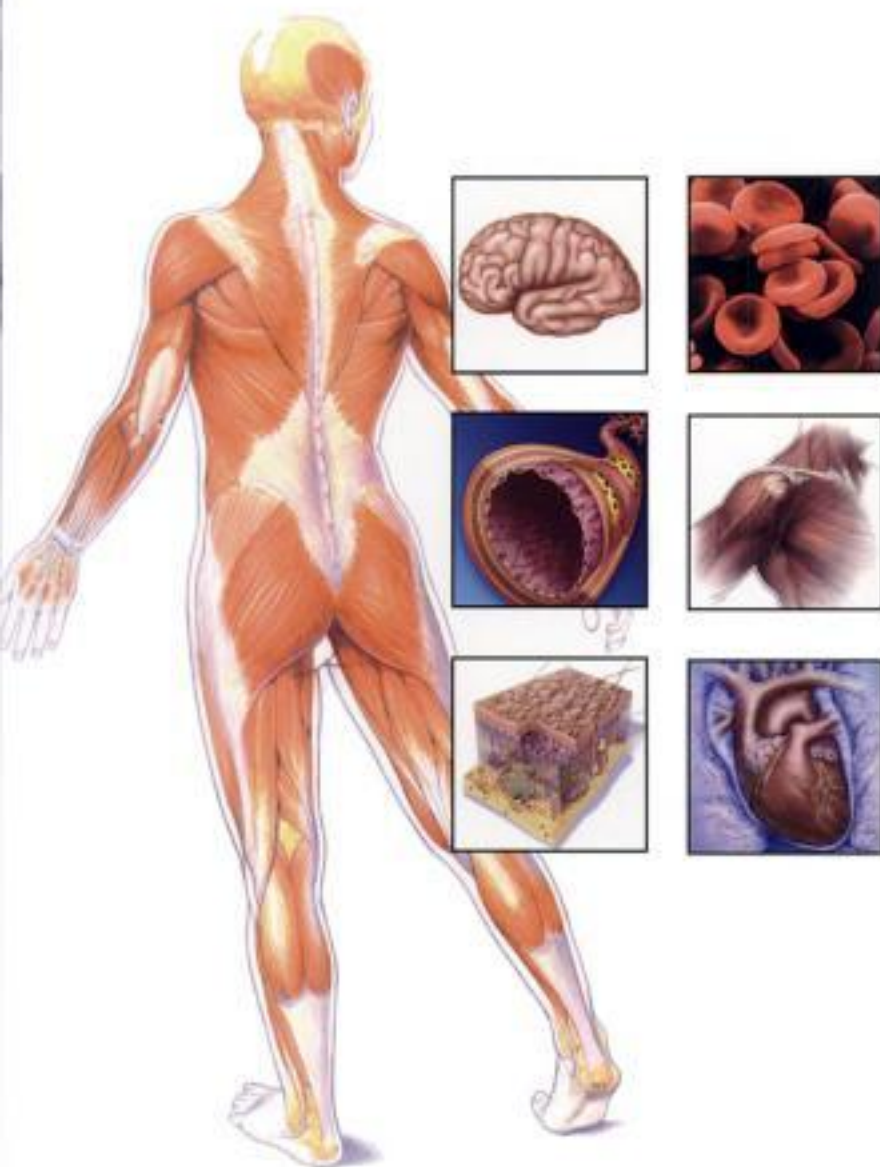
NOUVEAUX CAHIERS DE L'INFIRMIERE

sous la direction de

Léon Perlemuter - Jacques Quevauvilliers - Gabriel Perlemuter - Béatrice Amar - Lucien Aubert - Laurence Pitard

ANATOMIE ET PHYSIOLOGIE

POUR LES SOINS INFIRMIERS



Coordonné par
L. Perlemuter



4^e édition
tout en couleurs

27

avec à l'intérieur
un cahier d'entraînement

MASSON

Copyrighted material

L'homme et la femme

La machine humaine

La vie et l'homme

DE LA TERRE À LA VIE

Notre planète s'est formée il y a 4,6 milliards d'années. Il faudra un peu plus d'un milliard d'années pour que les premières formes de la vie apparaissent dans une atmosphère faite d'oxygène, d'hydrogène et d'azote et sur une terre de silice, de carbone, de calcium et de soufre.

● **Les conditions de l'explosion vitale** sont encore mal connues. Il n'est pas exagéré de dire qu'une sorte de miracle s'est produit pour qu'apparaissent, dans les océans primitifs, les premières chaînes d'acides aminés capables de se reproduire.

Pendant les 2,5 milliards d'années suivants, la vie se développe, lentement mais sûrement. À partir des acides aminés apparaît le monde des bactéries. Celles-ci apprennent à utiliser l'énergie pour croître et multiplier. La cellule devient autonome : elle s'isole de son milieu par une membrane lipidique, elle synthétise ce qui lui est nécessaire pour vivre et se reproduire.

● **Le milieu de vie** est simple, c'est celui de l'océan primitif : de l'eau, du chlorure de sodium, du potassium, quelques sels de calcium, de fer et de magnésium. Pour sa vie, la cellule utilise l'énergie fournie par le phosphore et la combustion du glucose assure son métabolisme.

Les cellules bactériennes vont grandir, apprendre à utiliser la lumière du soleil et à respirer. Elles vont développer deux types très différents d'« usines énergétiques » : les mitochondries qui caractérisent les cellules animales et les chloroplastes pour les cellules végétales.

● **L'apparition des cellules sexuées** marque une étape fondamentale dans le développement du vivant. Elles apparaissent il y a un milliard d'années. Jusque-là les bactéries se divisaient chacune en deux et donnaient lieu à des êtres filles parfaitement identiques. Avec le sexe apparaît la diversité. Le mélange des chromosomes devient obligatoire et quelque peu fantaisiste : « Le hasard et la nécessité » comme l'a résumé Jacques Monod.

Lorsque le sexe et la diversité apparaissent, le développement des espèces s'accélère :

- il y a 500 millions d'années naissent les vertébrés ;
- il y a 200 millions d'années se développent les mammifères ;
- il y a 100 millions d'années fleurissent les plantes à fleur ;
- il y a 4 millions d'années apparaissent les premiers hommes.

DES PRIMATES À L'HOMME

Les premiers primates apparaissent il y a 70 millions d'années. Ce qui fera la différence entre les autres vertébrés et les primates est le développement du cerveau. Ce que C.-L. Gallien appelle la neuromémoire résulte de la capacité des premiers primates à apprendre. Oui, il y a une branche initiale commune aux singes et à l'homme.

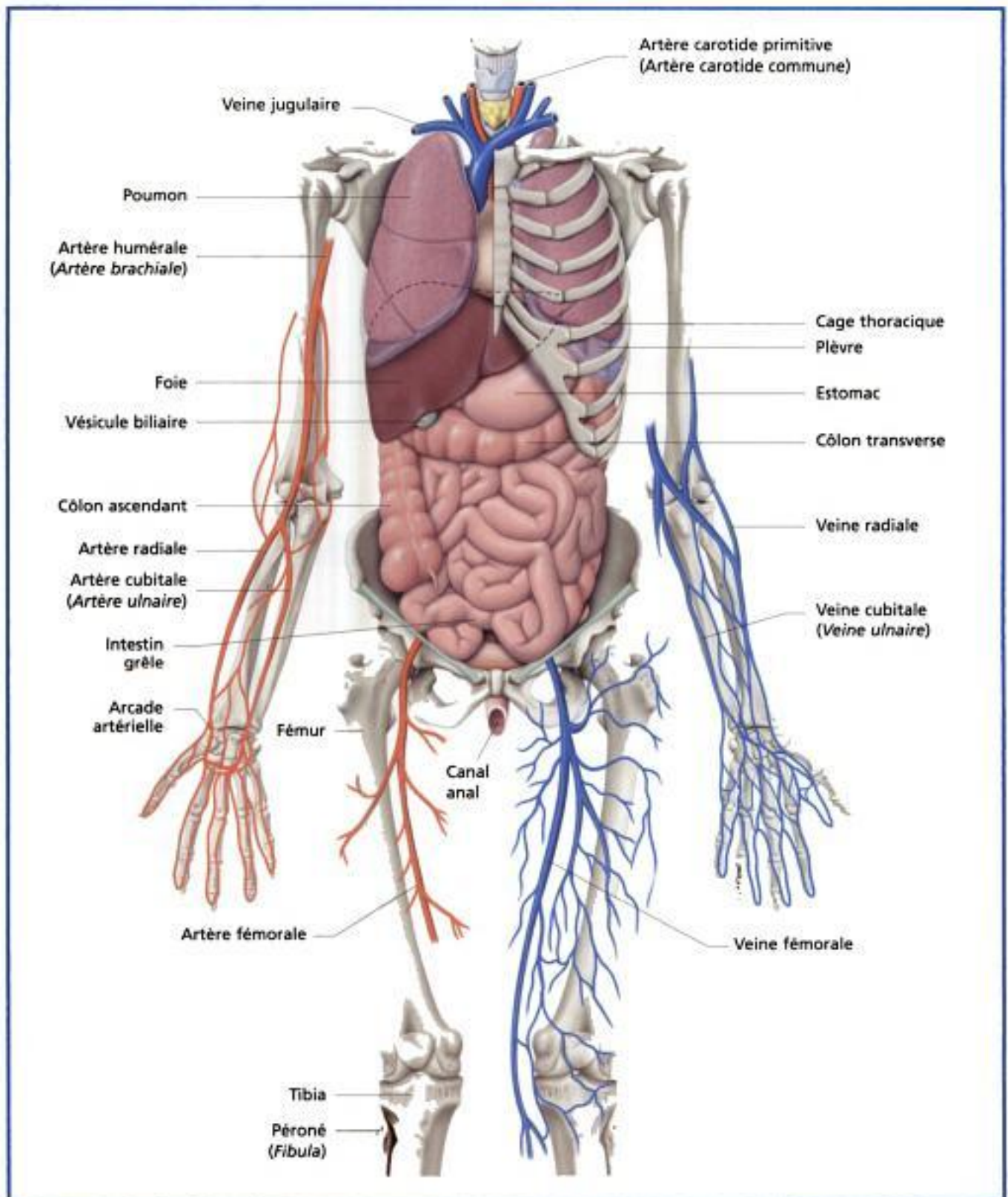
Non, l'homme ne descend pas du singe comme le croyait Darwin : il provient du développement d'une des branches de l'arbre originel. Les branches donnent successivement l'orang-outang, le gorille, le chimpanzé, les australopithèques puis les hominins qui apparaissent il y a 4 millions d'années. L'*Homo sapiens* naît il y a 150 000 ans et l'*Homo sapiens sapiens*, c'est-à-dire l'homme actuel, il y a « seulement » 40 000 ans.

L'IMPORTANCE D'ÊTRE CONSTANT

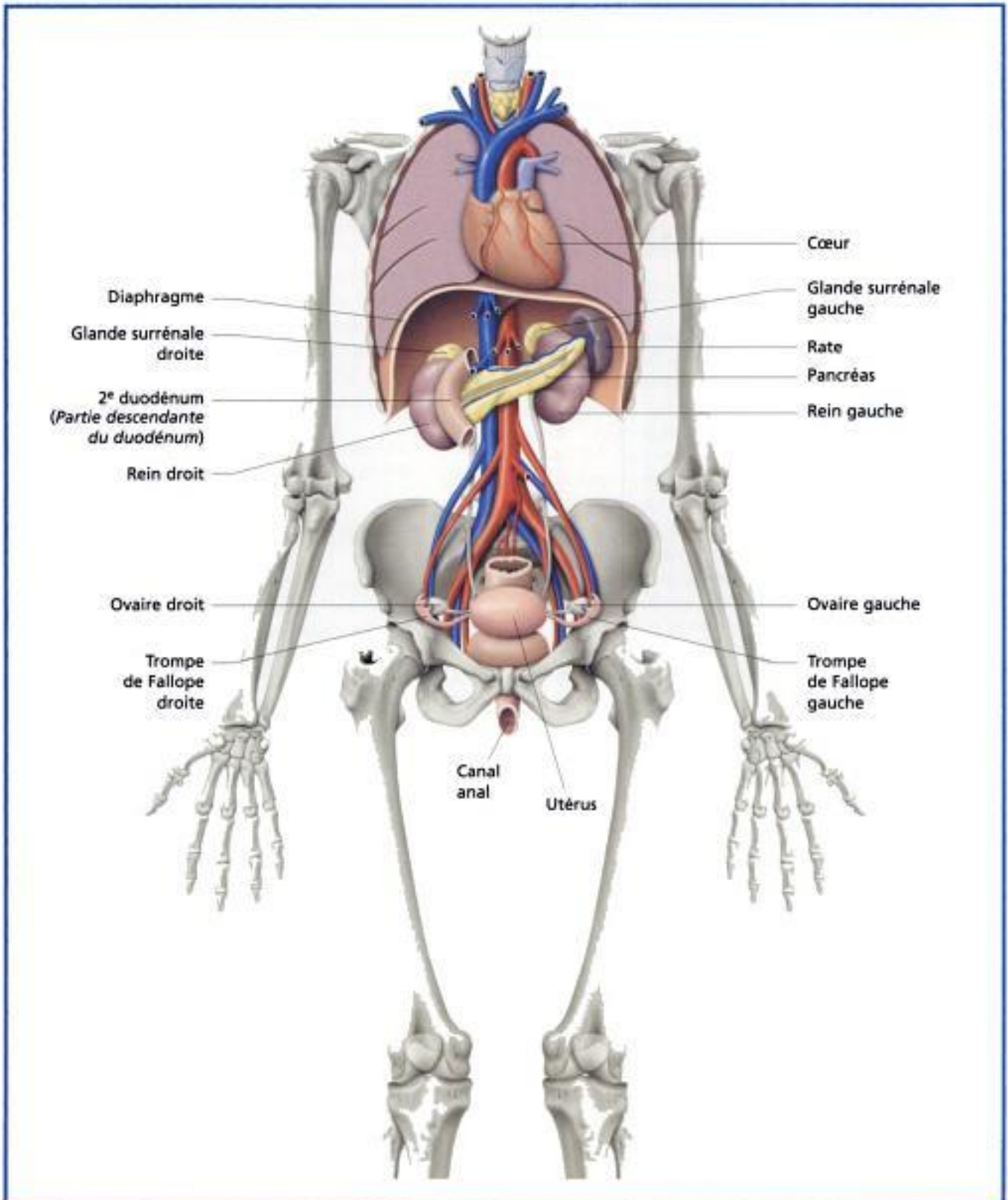
Depuis les origines jusqu'au développement de l'*Homo sapiens*, rien — ou presque rien — n'a changé dans les conditions du milieu de vie.

La composition en eau, en sodium, potassium, calcium, fer, magnésium, phosphore et glucose des cellules doit être absolument constante. Tous les mécanismes de survie des cellules vont être tournés vers un unique objectif : conserver la composition du milieu intérieur. Alors que les échanges de la cellule primitive avec le milieu extérieur étaient faciles et passifs, ceux d'un organisme complexe passent par des systèmes régulateurs complexes : les hormones.

2 L'homme et la femme : Le machine humaine



Organes internes thoraciques et abdominaux et circulation dans les membres.



Organes internes et gros vaisseaux avec charpente squelettique partielle.

La machine humaine

Parmi les vertébrés, l'homme, *Homo sapiens sapiens*, est une des créatures les plus évoluées des espèces vivantes. Il possède des caractéristiques remarquables avec une organisation de base clairement définie, un appareil reproducteur remarquablement conçu et un cerveau d'une effrayante complexité.

LA « MACHINERIE » DE BASE

Elle permet à l'homme de vivre et de renouveler ses réserves en s'adaptant au milieu.

- **Pour contenir les organes et se déplacer :** un système ostéoarticulaire qui lui permet de se tenir debout, et des mains avec un pouce opposable d'importance fondamentale pour travailler.

- **Pour assurer sa vie,** basée sur l'oxygénation des tissus : un système respiratoire et un système circulatoire très performants, pouvant s'adapter à des conditions de vie et d'effort très variées.

- **Pour s'alimenter :** un système digestif capable de mastiquer, d'absorber, de digérer et d'éliminer une alimentation très variée, animale et végétale. L'homme est un omnivore.

- **Pour éliminer les déchets toxiques :** un système urinaire comportant un système de filtrage, d'absorption et d'élimination (les reins) et des voies d'excrétion (uretère et vessie).

- **Pour diriger le fonctionnement des muscles et des organes :** le système nerveux de l'homme est très évolué. Il comporte :

- un système nerveux volontaire assurant la commande musculaire ;
- un système de contrôle automatique de la vie intérieure : système nerveux végétatif.

- **Des organes des sens :** vue, ouïe, odorat, goût et toucher dont certains éléments ne sont aussi développés que chez d'autres vertébrés (ouïe ou odorat par exemple) mais dont l'ensemble est parfaitement adapté à la vie de relation.

- **Une régulation du milieu intérieur** qui permet à la machine humaine de fonctionner dans un environnement vital constant : les glandes endocrines assurent, par la sécrétion d'hormones les adaptations d'urgence (eau, sodium, potassium, calcium, glucose, pression artérielle) et le maintien d'une température interne et des combustions adéquates.

- **Un système de respiration tissulaire et de défense :** le système sanguin. Il a plusieurs rôles essentiels :

- assurer le transport d'oxygène par les globules rouges ;
- assurer les défenses de l'organisme par les globules blancs ;
- assurer une coagulation efficace par les plaquettes et le système de coagulation.

L'APPAREIL REPRODUCTEUR

Les organes de la reproduction, comme chez tout vertébré sont les **glandes sexuelles** : testicules chez l'homme qui produisent les cellules mâles ou spermatozoïdes, ovaires chez la femme qui produisent les cellules femelles ou ovules.

L'appareil génital est bien différencié :

- chez l'homme, le pénis permet la pénétration dans le vagin et l'éjaculation des spermatozoïdes ;
- chez la femme, le vagin accueille le liquide séminal contenant les spermatozoïdes qui, remontant dans l'utérus, iront féconder un ovule.

Dès lors surviennent nidation, puis grossesse qui dure 9 mois (plus précisément 36 semaines).

LES FONCTIONS SUPÉRIEURES

Les caractéristiques d'*Homo sapiens sapiens* sont évidemment concentrées dans son cerveau. Le meilleur comme le pire ! Mais il est clair que le cerveau de l'espèce humaine est beaucoup plus développé que celui des animaux supérieurs, en rapport poids/taille et en cortex cérébral, c'est-à-dire en matière grise ; 1 800 cm³ au lieu de 1 200 pour l'*Homo erectus*, qui avait quitté le niveau du chimpanzé pour se mettre debout, il y a sept cent mille ans.

En bref, c'est la **capacité d'apprendre** qui caractérise le cerveau humain : les aires d'intégration sont très développées.

Les capacités de communication sont caractérisées par le **langage évolué** : les aires cérébrales correspondantes sont à la fois précises dans leur localisation et très compliquées dans leurs connexions avec les autres aires d'association.

Les facultés de création humaine et de réalisation sont expliquées par le très grand développement des aires cérébrales dévolues à la **main**.

Le plus grand mystère reste cependant celui de la pensée. Aucune explication scientifique ne permet à l'heure actuelle d'expliquer comment naît la pensée créatrice et comment la vie psychique s'entretient.

La cellule : unité de vie



La cellule est la plus petite unité de l'être vivant. Elle est capable de remplir toutes les fonctions de l'organisme : le métabolisme, le mouvement, la croissance, la reproduction et la transmission héréditaire. Il existe de nombreux types cellulaires différents dans l'organisme, mais toutes les cellules ont une structure commune.

Structure de la cellule

La cellule est entourée d'une enveloppe : la membrane plasmique. À l'intérieur, il existe deux compartiments principaux : le cytoplasme et le noyau (figure 1.1).

MEMBRANE PLASMIQUE

► Structure

La membrane plasmique a une épaisseur de 6 à 10 nm. Elle est composée d'une double couche lipidique. Chaque élément lipidique possède un

pôle hydrophile et un élément hydrophobe. Les éléments hydrophobes se font face dans la bicouche lipidique et les éléments hydrophiles sont tournés vers l'extérieur (milieux aqueux).

► Fonction

La membrane plasmique a plusieurs fonctions.

- Elle protège la cellule du milieu extérieur.
- Elle permet les échanges entre la cellule et le milieu extérieur. Ces échanges peuvent se faire :
 - par diffusion passive des molécules c'est-à-dire sans que la cellule ne fournisse de l'énergie ;
 - par transport actif ; un transporteur protéique et de l'énergie sont nécessaires.
- Elle contient des récepteurs qui permettent à la cellule de reconnaître certains produits auxquels elle va réagir (hormones).

Lorsqu'une cellule a besoin de « capter » des substances extracellulaires pour les apporter dans le milieu intracellulaire, elle dispose du mécanisme d'endocytose. L'endocytose se produit par invagination de la membrane plasmique et aboutit à la formation de vacuoles intracellulaires.

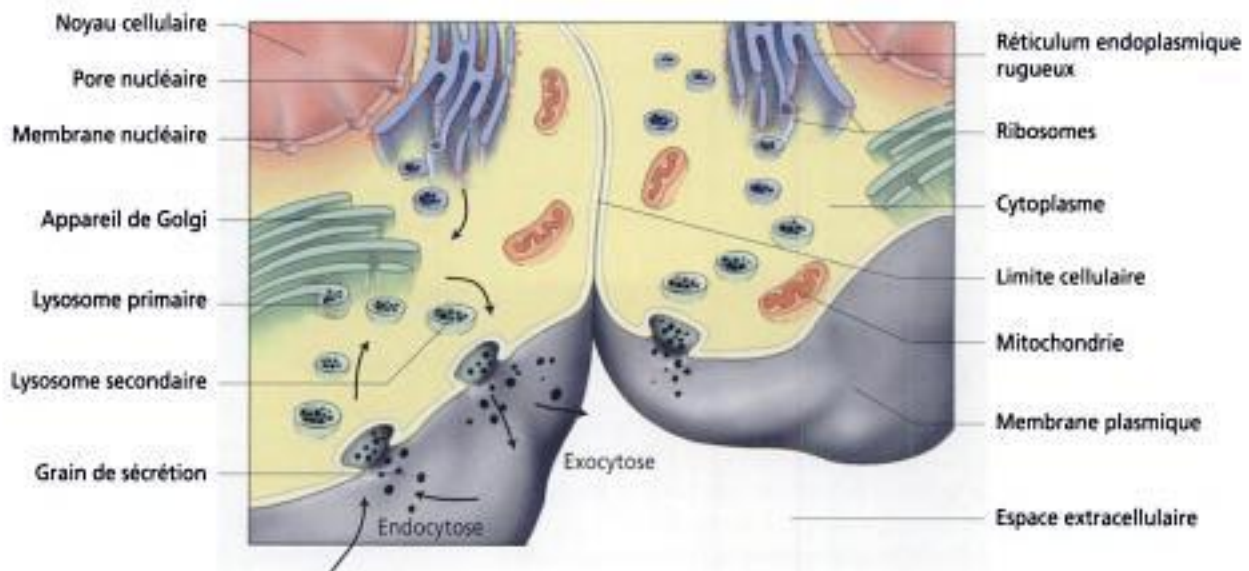


Figure 1.1. La structure cellulaire.



Inversement, pour libérer des substances intracellulaires vers le milieu extracellulaire, la cellule dispose du mécanisme d'**exocytose** : les molécules à sécréter sont enfermées dans des vacuoles puis déversées à l'extérieur par fusion des vacuoles avec la membrane plasmique.

CYTOPLASME

Il est composé du **hyaloplasme** dans lequel baignent les organites intracellulaires : le réticulum endoplasmique, l'appareil de Golgi, les mitochondries, les ribosomes, les lysosomes, les centrioles, les vacuoles et le squelette cellulaire.

► Réticulum endoplasmique

Il est formé de sacs aplatis qui forment un réseau dans le cytoplasme. On distingue :

- le réticulum endoplasmique lisse où ont lieu la synthèse et le stockage des lipides ;
- le réticulum endoplasmique rugueux, entouré de ribosomes, où ont lieu la synthèse et le stockage des protéines.

► Appareil de Golgi

Il est formé de sacs aplatis les uns sur les autres. Son rôle est de stocker les protéines issues du réticulum endoplasmique rugueux, d'achever leur maturation et de les sécréter. Il participe au processus de sécrétion. Les protéines à sécréter sont concentrées dans des vésicules issues des extrémités de l'appareil de Golgi. Ces vésicules sont déversées dans le milieu extracellulaire par exocytose.

► Ribosomes

Les ribosomes ont une allure sphérique. Ils peuvent être libres ou associés au réticulum endoplasmique.

Ils participent à la synthèse protéique à partir de l'ARN (traduction).

► Mitochondries

Ce sont des organites en forme de haricot où a lieu la respiration cellulaire c'est-à-dire l'oxydation des hydrates de carbone (glucides) et des lipides avec consommation d'oxygène.

De l'énergie est produite par la cellule sous forme d'adénosine triphosphate ou ATP dont les liaisons phosphates sont très riches en énergie.

► Lysosomes

Ce sont des vésicules contenant des enzymes hydrolytiques qui proviennent du réticulum endoplasmique ou de l'appareil de Golgi. Ils servent à la digestion des substances capturées par la cellule par phagocytose.

► Vacuoles

Ce sont des cavités sphériques et mobiles qui contiennent des substances stockées par les cellules ou bien des déchets à éliminer.

► Centrioles

Ce sont des éléments tubulaires qui interviennent dans la division cellulaire.

► Squelette cellulaire

Le squelette de la cellule ou cytosquelette est composé de filaments protéiques, polymères d'actine, de tubuline et de myosine.

Il sert au maintien et aux changements de formes de la cellule ainsi qu'à ses mouvements, particulièrement dans les cellules musculaires.

NOYAU

Le noyau est visible dans la cellule lorsqu'elle ne se divise pas (interphase).

Il est limité par l'enveloppe nucléaire et contient la chromatine et le nucléole.

► Enveloppe nucléaire

Elle est constituée de deux membranes séparées par un espace périnucléaire communiquant avec le réticulum endoplasmique. Des pores nucléaires sont également présents.

La face externe (cytoplasmique) est recouverte de ribosome et la face interne (nucléaire) de chromatine.

► Chromatine

Elle est constituée d'ADN ou acide désoxyribonucléique, qui est le support génétique de la cellule, empaquetée par des protéines.

► Nucléole

Il est formé d'ARN (acide ribonucléique) qui, associé à des protéines, va donner naissance aux ribosomes.



Information génétique

MOLECULES

► ADN ou acide désoxyribonucléique

Définition

L'ADN est une très longue molécule qui contient l'information génétique de la cellule et de l'organisme. Chaque cellule d'un individu contient les mêmes molécules d'ADN (sauf en cas de maladie). En se divisant, une cellule transmet son patrimoine génétique, c'est-à-dire son ADN aux cellules filles.

Structure (figure 1.2)

● L'unité de base de l'ADN est le nucléotide. Le nucléotide est composé de trois éléments :

- un radical phosphate;
- un sucre, le désoxyribose;
- une base.

● Il existe quatre bases différentes :

- l'adénine (A) et la guanine (G) qui sont les bases puriques;
- la thymine (T) et la cytosine (C) qui sont les bases pyrimidiques.

L'ADN est donc une succession de ces quatre types de bases.

L'ADN est constitué de deux chaînes polynucléotidiques (chaînes de nucléotides) enroulées l'une autour de l'autre de façon à former une double hélice. Les deux chaînes de l'hélice sont reliées l'une à l'autre :

- A d'une chaîne se lie à T de l'autre chaîne et inversement;
- G d'une chaîne se lie à C de l'autre chaîne et inversement.

Les deux chaînes d'ADN sont donc complémentaires par leurs nucléotides.

Fonction

L'ADN est le support de l'information génétique. Il contient les informations qui vont être exécutées par d'autres éléments cellulaires.

Schématiquement, à chaque information correspond un gène et à chaque gène, une protéine.

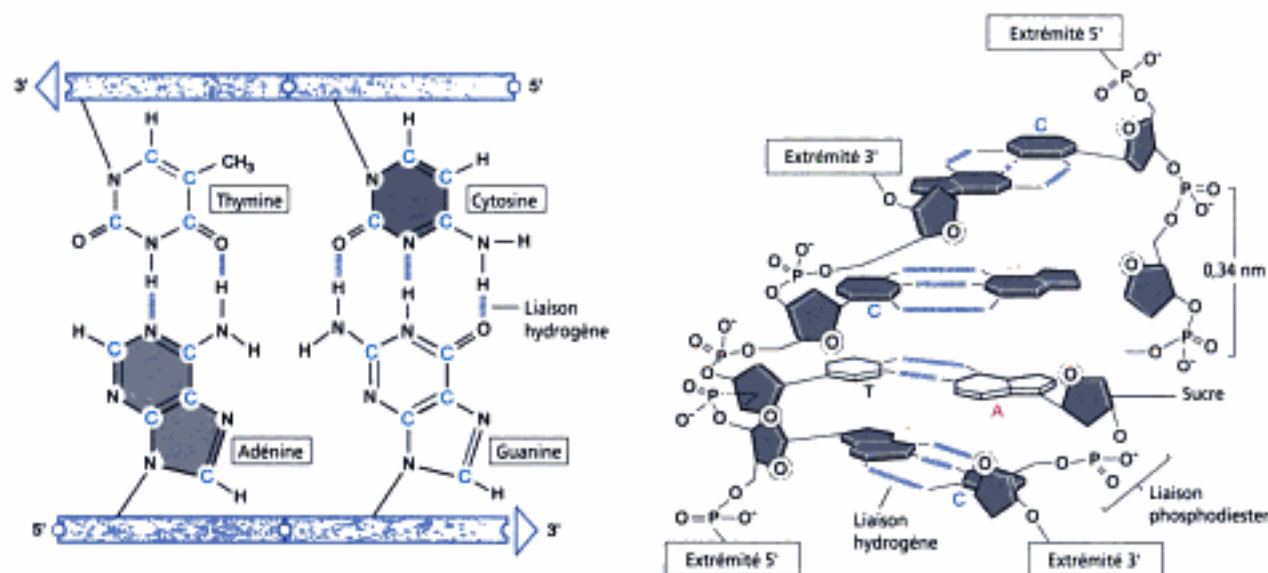


Figure 1.2. La structure de l'ADN.

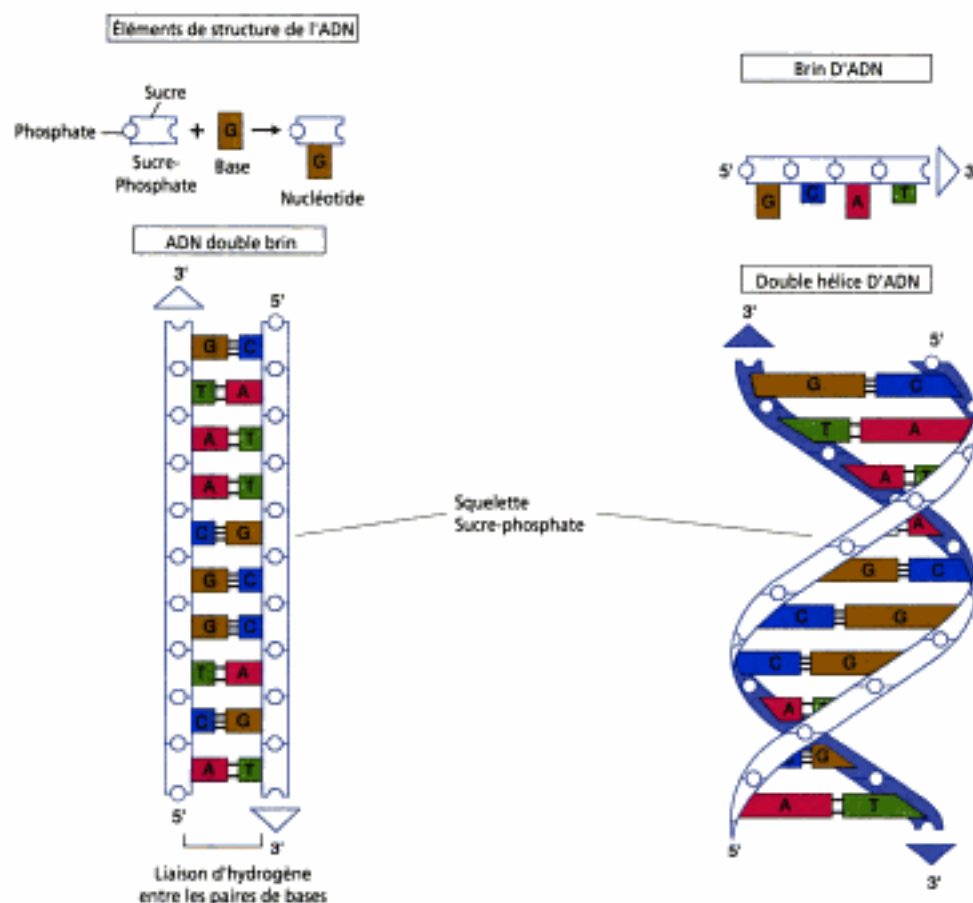


Figure 1.2. La structure de l'ADN (suite).

Dans certains cas, un gène peut être à l'origine de plusieurs protéines.

Ainsi, à partir de l'ADN, les cellules fabriquent des protéines.

Le gène est une portion d'ADN qui détermine la structure d'une protéine.

Comme l'ADN ne peut sortir du noyau cellulaire, un acide nucléique intermédiaire qui peut sortir du noyau pour permettre la synthèse protéique entre en jeu : l'ARN ou acide ribonucléique.

► ARN ou acide ribonucléique

Définition

L'ARN est un acide ribonucléique. Il est synthétisé à partir de l'ADN et est l'intermédiaire nécessaire à la fabrication des protéines.

Structure

L'unité de base est, comme pour l'ADN, le nucléotide. Les différences avec l'ADN sont les suivantes :

- le sucre est le ribose et non pas le désoxyribose ;
- la base thymine T est remplacée par l'uracile (U) ;
- l'ARN n'est constitué que d'une seule chaîne de nucléotides.

Fonction

L'ARN est l'intermédiaire entre l'ADN et les protéines. Il est synthétisé à partir de l'ADN : c'est la transcription (figure 1.3). L'ARN est synthétisé dans le noyau puis transféré dans le cytoplasme pour synthétiser les protéines.

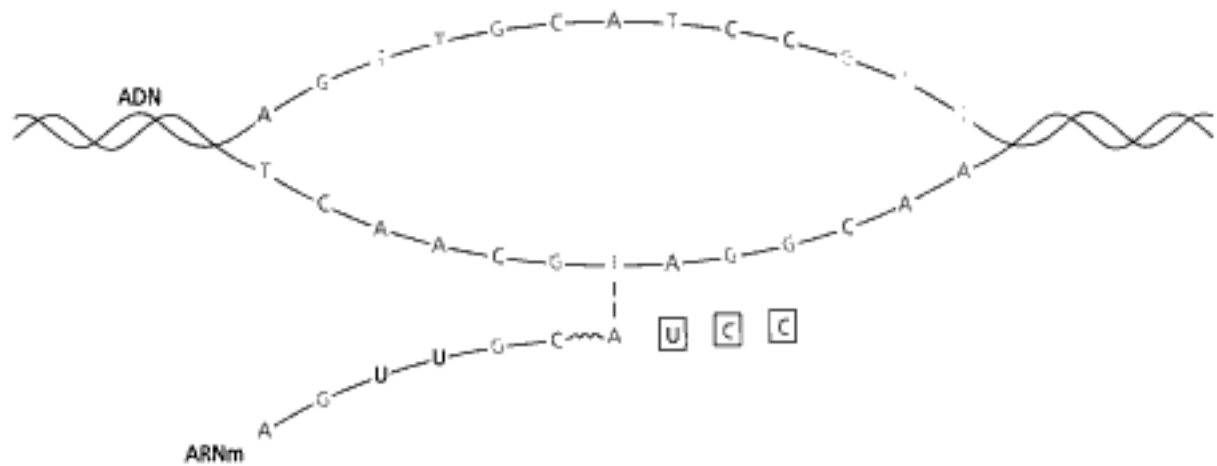


Figure 1.3. La transcription : l'ARN néosynthétisé est complémentaire du brin d'ADN transcrit. Il est donc identique au brin d'ADN non transcrit à l'exception des T qui sont remplacés par des U.

► Protéines

Une protéine est une succession d'acides aminés. À chaque protéine correspond un gène (figure 1.4). Les protéines synthétisées par les cellules ont de multiples fonctions : fonctions enzymatiques, hormonales, structurales, etc.

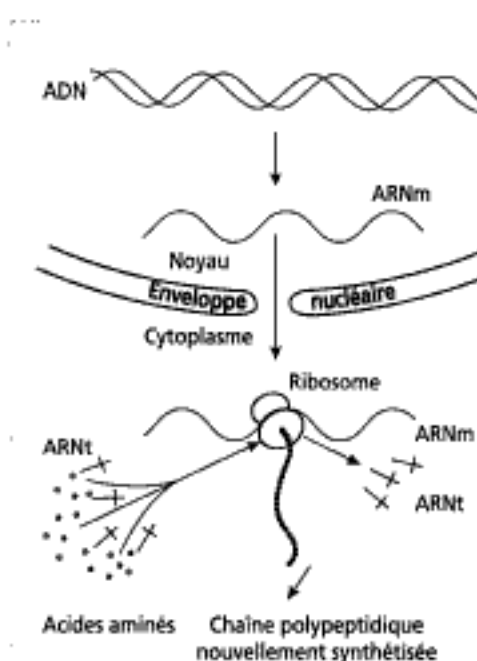


Figure 1.4. La synthèse des protéines.

MÉCANISMES

La fonction de l'information génétique est de synthétiser des protéines. L'ADN est d'abord transcrit en ARN puis traduit en protéines.

► Transcription

Définition

La transcription consiste en la synthèse d'une molécule d'ARN à partir d'un gène. La transcription a lieu dans le noyau.

Mécanisme

Les liaisons entre les deux brins d'ADN sont rompues.

Un des deux brins d'ADN sert de matrice pour la synthèse d'un brin d'ARN dont la séquence va être complémentaire du brin d'ADN transcrit (figure 1.3) :

- G va être remplacé en C et réciproquement ;
- T va être remplacé en A ;
- A va être remplacé en U car l'ARN comporte des U à la place des T.

Cette transcription se fait grâce à une enzyme : l'ARN polymérase.

La molécule d'ARN synthétisée va passer dans le cytoplasme pour être traduite en protéine. L'ARN qui sera traduit en protéine est un ARN messager ou ARNm.



1 ^{re} base	2 ^e base	3 ^e base
U	U	U
U	U	C
U	U	A
U	U	G
C	U	U
C	U	C
C	U	A
C	U	G
A	U	U
A	U	C
A	U	A
A	U	G
G	U	U
G	U	C
G	U	A
G	U	G

Figure 1.5. Le code génétique.

Traduction

Définition

La traduction consiste en la synthèse d'une protéine à partir de l'ARNm. Elle a lieu dans le cytoplasme.

Mécanisme

L'ARNm se lie à des ribosomes, entre les deux sous-unités.

À chaque succession de trois nucléotides ou codon correspond un acide aminé : c'est le code génétique (figure 1.5).

Ainsi, l'ADN est comme un alphabet qui va être lu, transcrit en un autre alphabet très voisin, l'ARN, lui-même traduit en acides aminés selon un code très précis : le code génétique.

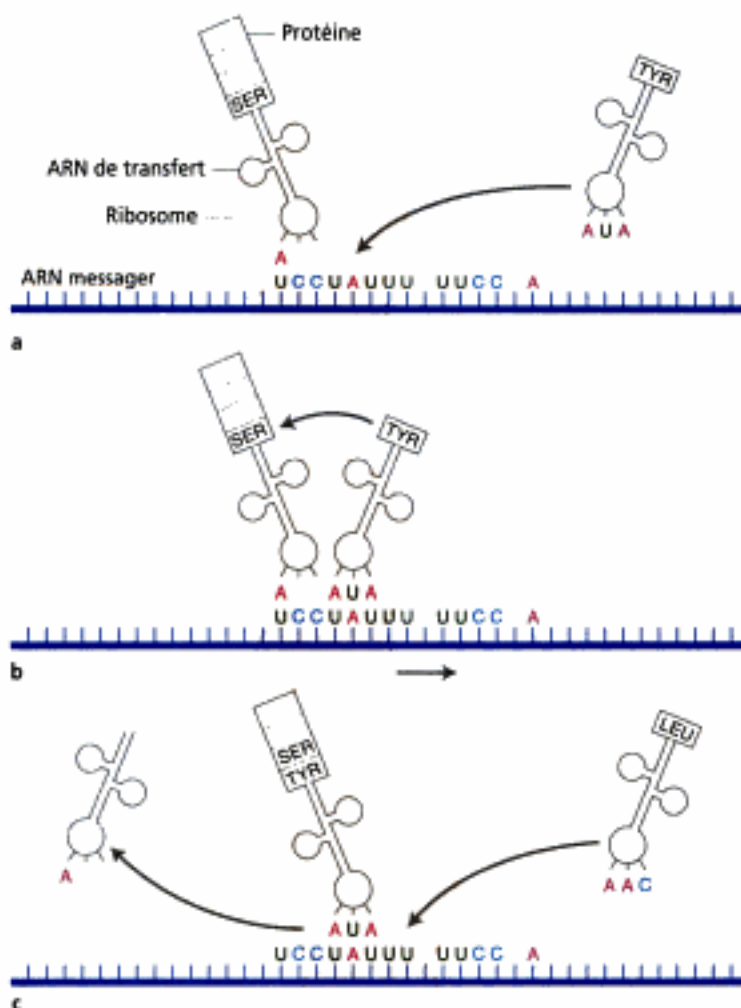


Figure 1.6. La traduction.

a. L'ARN messager (ARNm) est lié aux ribosomes de l'ARN. Chaque groupe de trois nucléotides ou codon représente un acide aminé. Sur le ribosome vient se fixer un ARNt qui porte un anticodon complémentaire du codon qu'il reconnaît; cet ARN de transfert (ARNt) transporte l'acide aminé correspondant au codon de l'ARNm. Sur la figure, un ARNt portant la sérine (SER), codée par le codon UCC, se fixe au ribosome.

b. L'ARNt suivant porte la tyrosine (TYR), codée par le codon UAU. Il se lie au ribosome. La tyrosine établit une liaison peptidique avec la sérine, dernier acide aminé de la chaîne polypeptidique en cours de synthèse.

c. Le ribosome se déplace d'un codon et libère l'ARNt de la sérine. L'ARNt suivant (ici celui de la leucine (LEU) codée par UGU) peut alors se fixer à son tour sur le ribosome.



Sur le ribosome vient se fixer un ARN de transfert ou ARNt qui comporte une succession de trois nucléotides complémentaires du codon (l'anticodon). Cet ARNt apporte un acide aminé correspondant au codon reconnu.

L'ARNt suivant se place à côté du premier en apportant son acide aminé. La liaison peptidique entre les deux acides aminés voisins se fait et le premier ARNt quitte le ribosome. Le ribosome se déplace alors d'un codon pour que l'ARNt suivant puisse amener son acide aminé.

Cet événement se répète jusqu'à ce que la protéine soit entièrement synthétisée (figures 1.6 et 1.7).

Afin d'améliorer le rendement, plusieurs ribosomes lisent simultanément le même ARNm et ainsi plusieurs protéines identiques sont synthétisées pour une seule molécule d'ARN.

À RETENIR

Les mots clés sont :

- **Génome** : matériel génétique porté par l'ADN.
- **Gène** : séquence d'ADN codant une protéine ; un gène comporte entre 1 000 et 5 000 nucléotides, et il y a environ 50 000 gènes dans l'organisme.
- **ADN** : molécule support de l'information génétique.
- **ARN** : molécule issue de l'ADN par transcription ; elle a une séquence complémentaire du brin d'ADN dont elle est issue.
- **Protéine** : succession d'acides aminés issue de l'ARN par traduction.
- **Codon** : triplet de nucléotides codant un acide aminé.
- **Code génétique** : code permettant à la cellule de transformer une séquence de nucléotides en une séquence d'acides aminés.

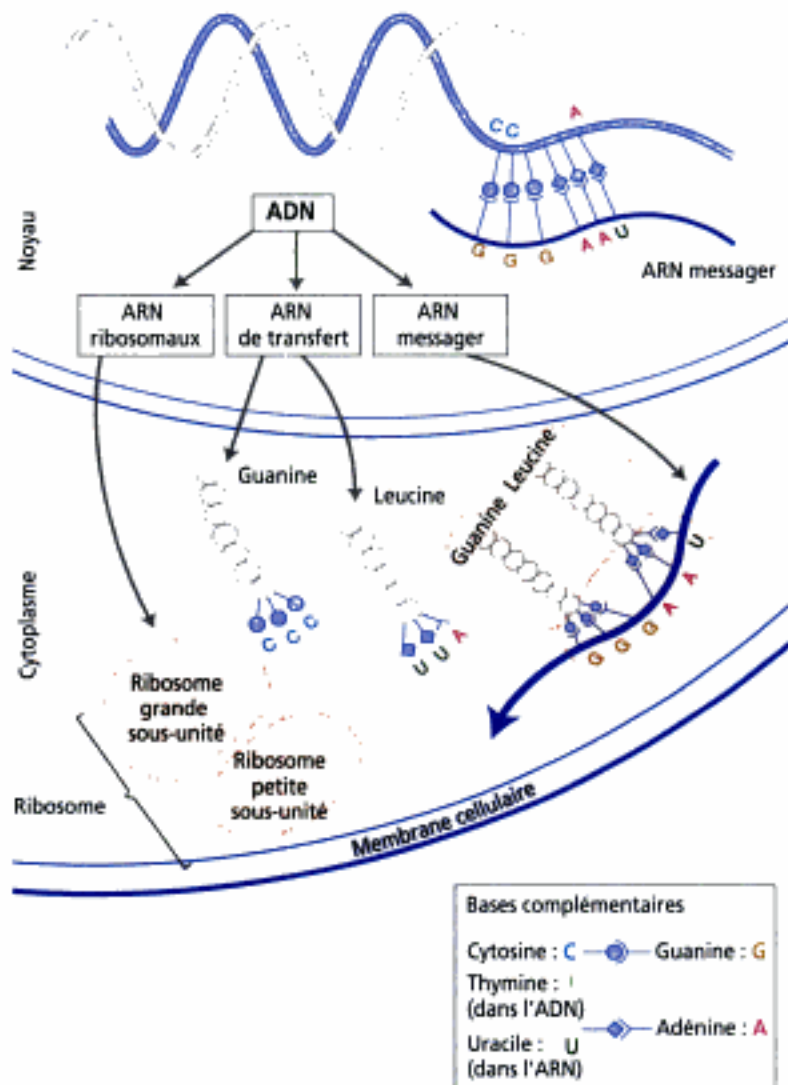


Figure 1.7. Synthèse des acides aminés.

Division cellulaire

La division cellulaire permet aux cellules de se reproduire et de se multiplier. À chaque division, elle doit transmettre son information génétique, c'est-à-dire son ADN.

La division cellulaire nécessite donc la reproduction d'une molécule d'ADN strictement identique à la molécule mère : c'est la réplication.

RÉPLICATION DE L'ADN

► Définition

La réplication de l'ADN est l'obtention à partir d'une molécule mère de deux molécules filles strictement identiques.



► Mécanisme

Les deux brins d'ADN se séparent. Grâce à une enzyme, l'ADN polymérase, un brin d'ADN complémentaire va être synthétisé en regard de chaque brin d'ADN de la molécule mère. Le respect de l'appariement des bases (A avec T et G avec C) est bien sûr respecté.

Ce processus permet d'aboutir à partir d'une seule molécule mère d'ADN à deux molécules filles (figure 1.8).

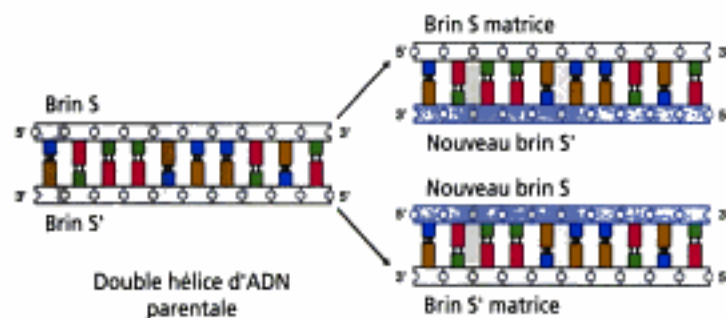


Figure 1.8. Réplication de l'ADN.

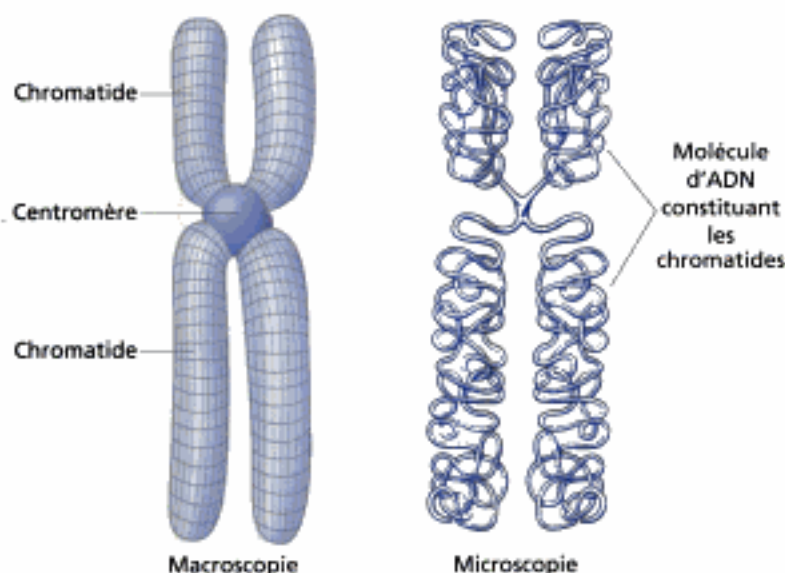


Figure 1.10. Le chromosome : il représente la forme maximale de la condensation de l'ADN.

MITOSE

La mitose est l'ensemble des processus qui permettent d'obtenir à partir d'une cellule mère deux cellules filles.

► Cycle cellulaire

Une cellule qui se divise passe par quatre phases successives (figure 1.9).

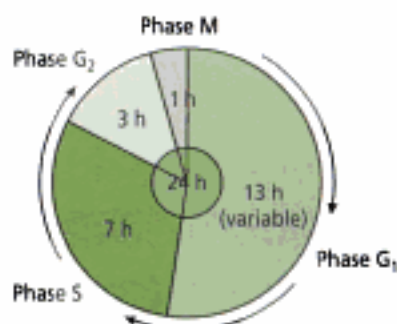


Figure 1.9. Cycle cellulaire.

- La phase G_1 est une phase de préparation qui peut durer de quelques heures à quelques jours en fonction du type cellulaire.
 - La phase S est la phase où l'ADN est répliqué; elle dure 7 heures environ.
 - La phase G_2 dure environ 3 heures; elle prépare l'entrée en mitose.
- On appelle interphase le regroupement des phases G_1 , S et G_2 c'est-à-dire des phases où la cellule ne se divise pas.
- La mitose est la phase pendant laquelle la cellule se divise; elle dure 1 heure environ.
- Si les cellules ne se divisent plus, le cycle est interrompu et les cellules entrent en phase G_0 .

► Mitose elle-même

Chromosomes

Pendant l'interphase, l'ADN est sous forme peu condensée : la chromatine. Afin que l'ADN puisse être réparti de façon égale entre les deux cellules filles, celui-ci doit être condensé.

La condensation maximale de l'ADN forme les chromosomes (figure 1.10). Les chromosomes sont les supports de l'hérédité.



Les cellules humaines comportent 46 chromosomes (23 paires de 2 chromosomes), à l'exception des cellules reproductrices qui n'en comportent que 23.

Chaque chromosome est formé de deux chromatides reliés entre elles par le centromère.

Lors de la mitose, les deux chromatides du même chromosome vont se séparer pour se répartir dans les deux cellules filles.

Différentes étapes de la mitose

La mitose comporte quatre étapes (figure 1.11) :

- **La prophase** : les chromosomes apparaissent et les centrioles se répliquent.
- **La métaphase** : l'enveloppe nucléaire disparaît ; les chromosomes se placent au centre de la cellule, à égale distance des deux centrioles, pour former la plaque équatoriale. C'est à cette étape qu'on peut pratiquer un caryotype pour analyser

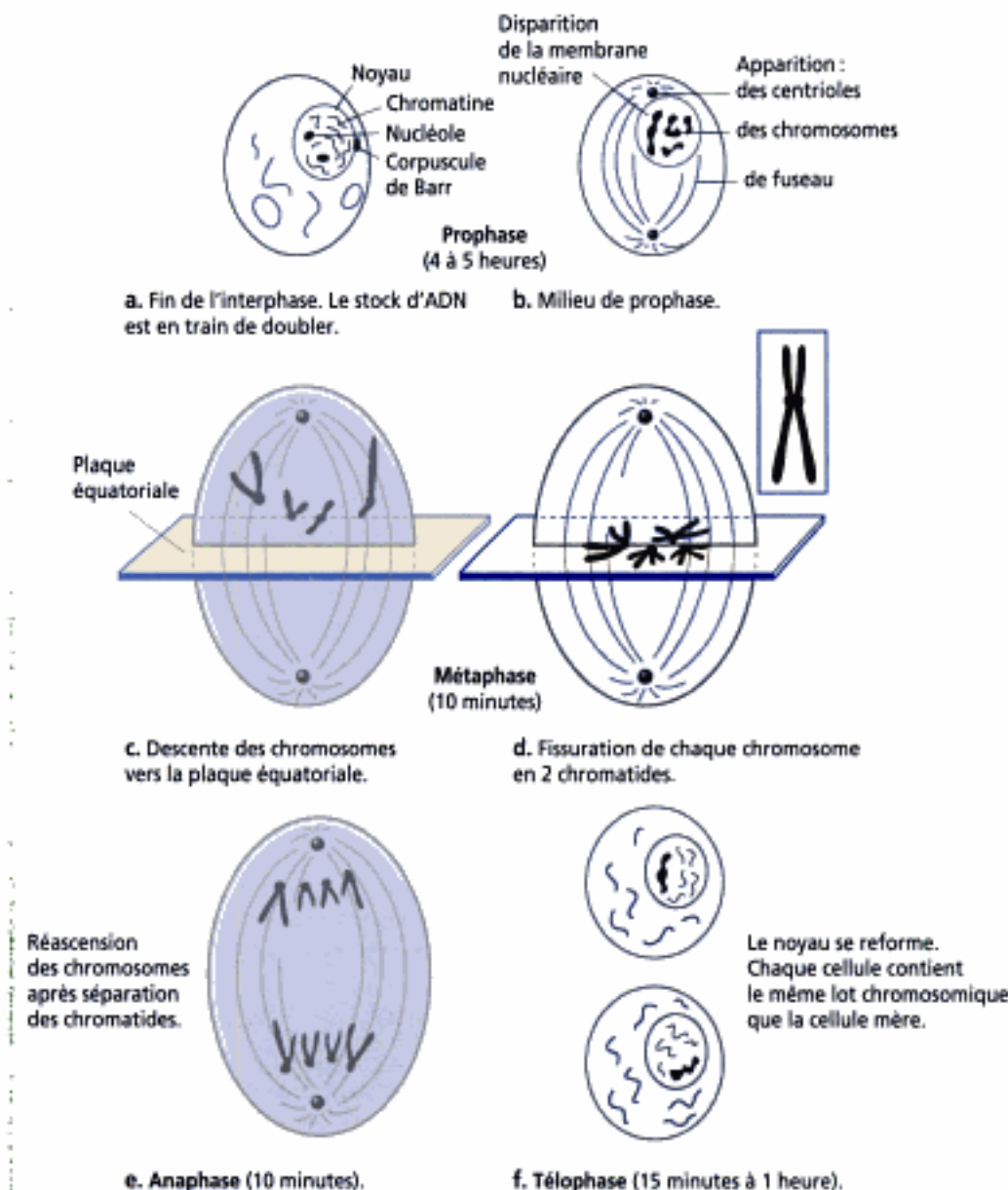


Figure 1.11. La mitose.



les chromosomes (par exemple pour rechercher une trisomie 21, responsable du mongolisme).

- **L'anaphase** : les deux chromatides identiques de chaque chromosome se séparent et migrent vers les deux pôles opposés de la cellule.

- **La télophase** : les chromosomes se décondensent ; l'enveloppe nucléaire se reforme et la membrane plasmique s'invagine pour séparer les deux cellules filles.

Les deux cellules filles entrent alors en phase G₁.

LA MÉIOSE

Les cellules germinales sont haploïdes, c'est-à-dire qu'elles ne comportent qu'une version de chaque chromosome. Toutes les autres cellules de l'organisme sont diploïdes, c'est-à-dire qu'elles contiennent 2 versions identiques de chaque chromosome : ce sont des chromosomes homologues.

La méiose concerne la division des cellules germinales. Par rapport à la mitose, la méiose comporte deux divisions cellulaires au lieu d'une seule. Ainsi, après la 2^e division cellulaire, on aboutit à 4 cellules haploïdes à partir de chaque cellule qui entre en méiose (voir figure 1.12). La fusion d'une cellule haploïde d'origine paternelle avec une cellule haploïde d'origine maternelle permet d'obtenir une cellule diploïde où le matériel génétique d'origine paternelle et maternelle sera brassé pour aboutir à un nouvel organisme.

MORT CELLULAIRE

Il existe deux types de mort cellulaire :

- la mort cellulaire « physiologique » encore appelée « mort cellulaire programmée » ou « apoptose » ;
- la mort cellulaire non physiologique ou « nécrose ».

► Apoptose

L'apoptose est une mort cellulaire naturelle ou physiologique. C'est un processus qui transforme les cellules afin qu'elles soient éliminées de l'organisme sans laisser de cicatrice ; l'équilibre entre les cellules qui meurent et celles qui se divisent permet à l'individu de survivre.

L'apoptose est impliquée dans de nombreux processus physiologiques comme par exemple l'embryo-

genèse (50 % des neurones disparaissent par apoptose) ou la régulation du système immunitaire.

Un défaut d'apoptose, c'est-à-dire une absence de mort cellulaire, peut conduire à des maladies comme certains cancers.

► Nécrose

La nécrose est une mort cellulaire qui survient lorsque la cellule est confrontée à des situations non physiologiques extrêmes, c'est-à-dire à une agression brutale (par exemple brûlure ou infection). Elle entraîne la formation d'une cicatrice.

QUELQUES APPLICATIONS DES BIOTECHNOLOGIES

La biologie moléculaire offre de multiples possibilités d'études des gènes et de leur expression.

► Animaux transgéniques

Les animaux transgéniques sont utilisés pour étudier la fonction d'un gène ou créer des modèles animaux de maladies humaines. Schématiquement, on insère dans le matériel génomique embryonnaire à un stade précoce un gène étranger. L'animal qui proviendra de cette manipulation génétique exprimera le gène inséré. On peut par exemple faire exprimer les protéines impliquées dans certaines pathologies humaines pour pouvoir les étudier (souris développant un cancer, souris exprimant des protéines d'un virus, etc.).

► Thérapie génique

Cette technique porteuse d'espoir, consiste à introduire des gènes sains dans des cellules malades. On espère ainsi pouvoir faire exprimer des protéines manquantes au cours de certaines maladies (exemple : mucoviscidose, myopathie de Duchenne). Le traitement de certains cancers est également envisagé en utilisant par exemple des gènes suicides qui tueraient les cellules cancéreuses.

► Clonage

En 1997 a été publié le 1^{er} clonage réussi d'un mammifère. Des cellules de peau ont été prélevées sur le pis d'une brebis. Elles ont donné l'ADN maternel. Ces cellules ont été cultivées dans des conditions très particulières. Chez une autre brebis, des ovocytes ont été prélevés auxquels le



noyau a été enlevé. Une fusion entre les cellules de peau (qui comportent le noyau et donc l'ADN) et l'ovocyte sans le noyau a été réalisée. « L'embryon » qui en résultait a été implanté dans une brebis porteuse. Cette manipulation a créé la célèbre brebis « Dolly ».

Ce type de clonage pose des problèmes de contrôle génique du développement cellulaire qui ne sont pas résolus. Dolly a présenté au bout de 3 ans des signes de vieillissement cellulaire puis est morte à 6 ans, en quelques jours, d'une maladie mal expliquée.

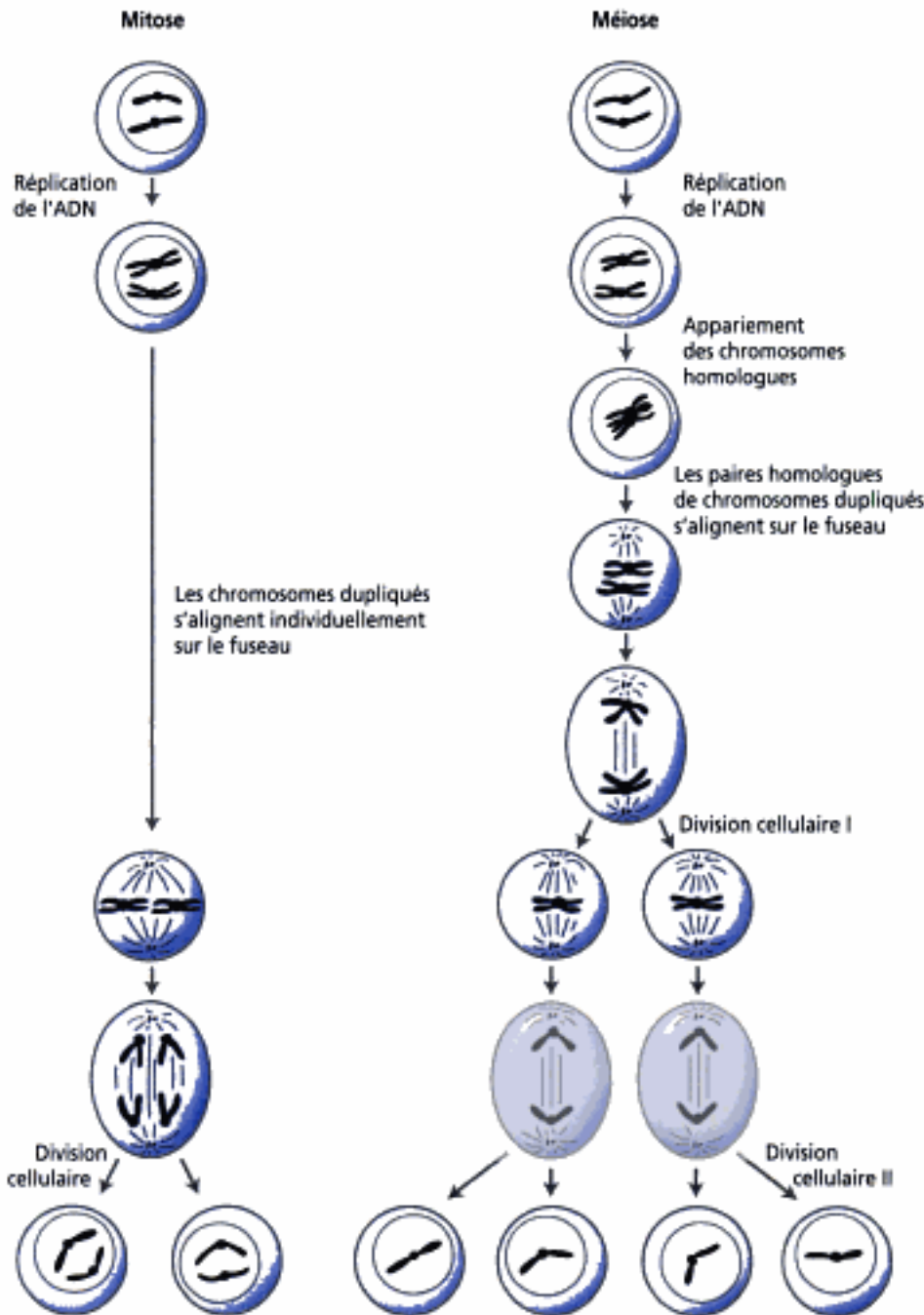


Figure 1.12. Comparaison de la mitose et de la méiose. Dans un souci de clarté, seule une paire de chromosomes est figurée. L'appariement des chromosomes d'une paire est un phénomène unique à la méiose. Chaque chromosome a été dupliqué et existe sous forme de deux chromatides sœurs attachés avant que l'appariement se produise, de sorte que deux divisions nucléaires sont nécessaires pour produire les gamètes haploïdes, c'est-à-dire qui ne comporteront pas les chromosomes en paire.

Squelette et système locomoteur

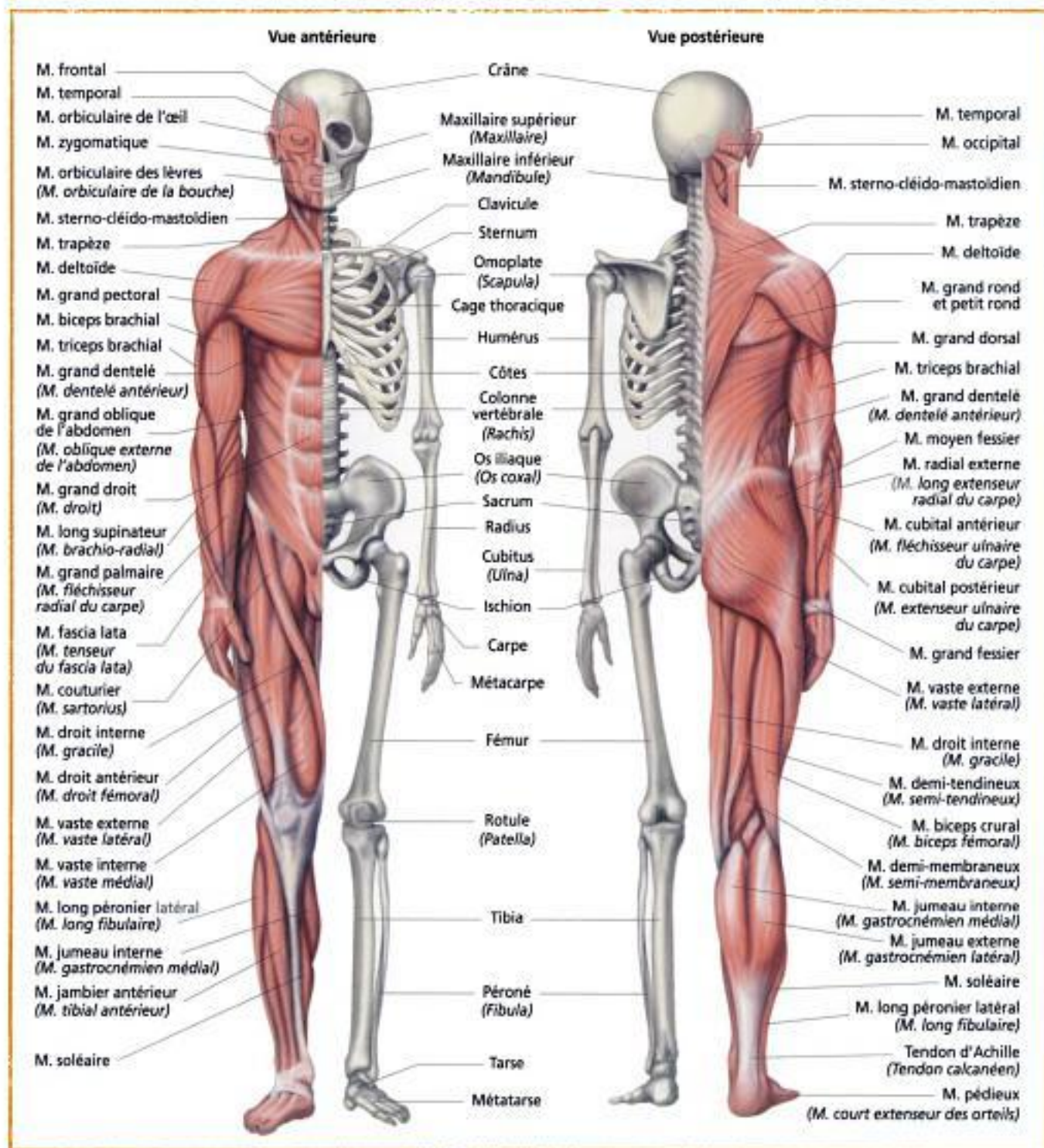


Figure 2.1. Vue générale des muscles et des os.



L'appareil locomoteur représente un ensemble fonctionnel comprenant des **os** unis entre eux par des **articulations**, et **mis en mouvement** par des **muscles**. Ces derniers se contractent grâce aux **nerfs** qui les innervent, mais la bonne exécution du mouvement, c'est-à-dire la coordination de la **fonction locomotrice**, est sous la dépendance de l'ensemble du système nerveux central.

ANATOMIE — HISTOLOGIE PHYSIOLOGIE

► Os et tissu osseux

Generalités

Ce sont des pièces dures résistantes qui s'articulent entre elles pour constituer le **squelette**, véritable **charpente** de l'appareil locomoteur. Ils donnent insertion aux muscles, tendons et ligaments. On distingue :

Dans le squelette

- La colonne vertébrale, ou rachis, formée par la superposition des vertèbres.
- Le sternum et les côtes articulées avec les vertèbres correspondantes, constituant le thorax ou cage thoracique.
- La tête articulée sur l'extrémité supérieure de la colonne vertébrale.

– Les membres supérieurs rattachés au thorax par la clavicule et l'omoplate, qui constituent la ceinture scapulaire.

– Les membres inférieurs rattachés à la partie inférieure du rachis (appelée sacrum) par la ceinture pelvienne formée par la réunion du sacrum et des deux os iliaques. Ces os délimitent le bassin.

Suivant la forme des os

• Les **os plats**, caractérisés par la prédominance de la longueur et de la largeur sur l'épaisseur (omoplate); les **os courts** où les trois dimensions sont à peu près égales (os du carpe); les **os longs** dans lesquels la longueur l'emporte nettement sur les autres dimensions (humérus, fémur...).

• Un **os long** est constitué de trois parties (figure 2.2) :

– La **diaphyse** : cylindre de tissu osseux dur et compact et dont la cavité centrale est remplie de moelle. C'est là que sont formées les cellules sanguines. Chez le petit enfant, tous les os sont remplis de moelle élaborant des cellules sanguines (moelle rouge ou tissu hématopoïétique). À partir de 6 ans, se produit une transformation progressive de la moelle rouge en moelle jaune grasseuse ne formant plus de cellules sanguines. Ainsi, chez l'adulte, la synthèse des cellules du sang est limitée à quelques os (sternum, vertèbres, côtes...).

– Les **épiphyes** situées aux deux extrémités de la diaphyse sont deux excroissances osseuses renflées et recouvertes de cartilage.

– Enfin, les **métaphyses** sont situées entre la diaphyse et l'épiphyse.

Les trois éléments sont vascularisés par des artères nourricières, métaphysaires et épiphysaires. Les nombreux petits orifices situés à la surface des os donnent accès aux canaux nourriciers.

Le **périoste** est une membrane fibroélastique qui recouvre tous les os, sauf au niveau des surfaces articulaires.

Tissu osseux

Le tissu osseux est un tissu hautement spécialisé composé de cellules particulières capables de sécréter une substance protéique sur laquelle se déposeront du calcium et du phosphore, conférant à l'os sa dureté caractéristique.

Éléments du tissu osseux

• Les **ostéoblastes** et les **ostéoclastes**, cellules qui sont respectivement responsables des phénomènes de construction et de résorption osseuse au niveau



Figure 2.2. Constitution d'un os long.



des surfaces de contact entre les travées osseuses et la moelle.

- **Les ostéocytes**, cellules allongées qui se trouvent dans des cavités creusées dans la matière osseuse, et autour desquelles se produisent aussi une apposition et une résorption.

- La **substance interstitielle** est faite d'une substance organique (**matrice**) composée essentiellement de collagène (corps contenant un acide aminé particulier : l'hydroxyproline). Cette matrice baigne dans une substance fondamentale faite d'eau, d'électrolytes, de protéines.

- **Les sels minéraux** : calcium et phosphore vont se déposer sur les substances précédentes sous forme de cristaux appelés cristaux d'hydroxyapatite.

Mode de formation du tissu osseux

- La **formation** du tissu osseux comprend tout d'abord l'édification d'une substance dite pré-osseuse, le **tissu ostéoïde**, édifiée par les **ostéoblastes**. Sous l'influence de la vitamine D, le tissu ostéoïde est alors très rapidement calcifié (on ne le retrouve pratiquement plus dans l'os normal) et devient le tissu osseux définitif. Les ostéoblastes sont capables de sécréter une enzyme particulière, la phosphatase alcaline, dont le dosage a un grand intérêt en pratique médicale courante.

- La **résorption** osseuse est un processus qui aboutit à la destruction des différents constituants du tissu osseux normal. Elle est due à l'action des **ostéoclastes** et elle est stimulée par l'hormone parathyroïdienne. Le phosphore et le calcium ainsi libérés retournent dans les liquides interstitiels.

- Ainsi, l'os est en perpétuel remaniement : **formation osseuse** d'une part, **résorption osseuse** d'autre part. Un **état d'équilibre** entre ces deux phénomènes est indispensable pour obtenir le maintien d'un os de bonne qualité.

Structure du tissu osseux

Le tissu osseux est fait de lamelles osseuses accolées, mais l'agencement de ces lamelles diffère et permet de distinguer :

- Le **tissu osseux compact**, constitué de plusieurs lamelles cylindriques dont la structure d'ensemble est comparable à des tubes emboîtés les uns dans les autres. Le centre du système ainsi formé est un canal étroit, le canal de Havers. Le tissu compact forme la corticale de la diaphyse des os longs.

- Le **tissu osseux spongieux**, aussi formé de lamelles osseuses, mais irrégulièrement disposées ; ces travées limitent des espaces qui communiquent

entre eux et qui contiennent le « tissu hématopoïétique », lieu d'élaboration des cellules sanguines. Le tissu spongieux occupe les métaphyses et les épiphyses des os longs.

Croissance des os

- L'accroissement en **épaisseur** est assuré par les ostéoblastes qui occupent la partie la plus superficielle de l'os.

- L'accroissement en **longueur** est dû à la prolifération des cellules qui forment le **cartilage de conjugaison**, zone située entre la métaphyse et l'épiphyse. Le cartilage de conjugaison, à ne pas confondre avec le cartilage articulaire, une fois formé, va se calcifier et se transformer en os.

Durant toute la croissance, les deux processus, prolifération des cellules et ossification, s'équilibrent. Peu après la puberté, c'est le deuxième processus qui l'emporte, si bien que tout le cartilage de conjugaison s'ossifie et que la croissance s'arrête. La transformation en os des pièces cartilagineuses du squelette (encore appelée maturations) obéit à une chronologie précise. Sur des radiographies, il est possible d'évaluer « l'âge osseux » d'un enfant.

De nombreux facteurs influencent la formation, la croissance et la maturation des os

- **Facteurs génétiques**. On connaît des maladies osseuses d'origine génétique (comme l'ostéogénèse imparfaite, maladie de Lobstein), des chondrodysplasies génétiques dont la plus fréquente est l'achondroplasie ; dans cette maladie, le trouble porte sur l'activité des cartilages de conjugaison et entraîne un nanisme micromélique (petits membres) et macrocéphalique (grosse tête).

- **Facteurs mécaniques**. L'immobilisation favorise la diminution du tissu osseux (ostéoporose d'immobilisation, comme lors des fractures du rachis avec paraplégie ; état d'apesanteur comme on l'a remarqué chez les cosmonautes). À l'opposé, la marche et l'activité physique en charge stimulent la formation osseuse.

- **Facteurs vasculaires**. L'interruption de la vascularisation du tissu osseux entraîne une ostéonécrose (mort du tissu osseux). Il en est ainsi dans l'ostéonécrose de la tête fémorale qui complique certaines formes de fractures du col du fémur.

Facteurs métaboliques

- Le **calcium** est indispensable à l'organisme en général et au tissu osseux en particulier. Les besoins sont généralement satisfaits dans nos contrées par les produits laitiers de l'alimentation. Ils sont de 700 mg/jour chez l'adulte, 1 000 mg/jour chez l'enfant, 1 200 mg/jour chez la femme enceinte et de 1 500 mg/jour chez la femme qui allaite.



Le calcium est absorbé dans le duodénum et dans l'intestin grêle; la vitamine D est indispensable à son absorption. La carence en calcium et en vitamine D chez l'enfant est responsable du rachitisme.

– Le **phosphore** est indispensable au tissu osseux; il se trouve en abondance dans l'alimentation, et sa carence d'apport ne s'observe pas. Il est absorbé dans l'intestin grêle sous l'influence indirecte de la vitamine D et du calcium.

Le défaut d'absorption intestinale du calcium et du phosphore, tel qu'on peut le rencontrer dans les suites de certaines opérations chirurgicales pour ulcère (gastrectomies avec exclusion duodénale) est responsable d'une grande partie des ostéomalacies de l'adulte.

– La **vitamine D** est fondamentale. Elle est formée principalement dans la peau sous l'influence des rayons ultraviolets (exposition solaire): le 7-déhydrocholécalférol est ainsi transformé en cholécalférol ou vitamine D₃. L'apport alimentaire est faible (lait, beurre, jaune d'œuf, etc.). Dans l'organisme, la vitamine D₃ est ensuite métabolisée dans le foie en 25-OH-cholécalférol, puis repasse dans le sang pour gagner ses organes cibles: l'intestin, les os, les reins. Dans les reins, elle est encore métabolisée en 1-25-dihydroxycholécalférol.

Les deux métabolites ont une activité plus forte que celle de la vitamine D₃.

Au niveau de l'intestin, elle favorise l'absorption du calcium et indirectement du phosphore. Au niveau de l'os, elle entraîne une calcification rapide du tissu ostéoïde, et elle exalte aussi la résorption osseuse.

● Facteurs hormonaux

– L'**hormone parathyroïdienne** est responsable de la résorption osseuse normale par les ostéoclastes. Son excès de sécrétion dans les adénomes parathyroïdiens (hyperparathyroïdie primaire) entraîne une décalcification du squelette.

– L'**hormone thyroïdienne** est indispensable à la croissance et à la maturation du squelette. Dans l'hypothyroïdie du nourrisson (myxœdème congénital), le retard de croissance s'apprécie sur les radiographies osseuses.

– La **thyrocalcitonine** a un effet opposé à celui de l'hormone parathyroïdienne et freine la résorption osseuse.

– L'**hormone somatotrope** hypophysaire stimule la croissance en longueur et en épaisseur des os. Son excès de sécrétion est responsable des troubles morphologiques osseux de l'acromégalie. Sa carence favorise certaines formes de nanisme.

– Les **hormones surrénaliennes** (cortisol, cortisone) et les médicaments dérivés de la cortisone favorisent une déminéralisation osseuse en freinant l'activité des ostéoblastes: ostéoporose cortisonique. Elles provoquent aussi, à forte dose, un retard de croissance; leur emploi doit donc être limité chaque fois que possible chez l'enfant.

– Les **androgènes** et les **œstrogènes** ont également une action sur l'os. L'ostéoporose post-ménopausique est très fréquente, liée à l'arrêt de la sécrétion œstrogénique.

► Articulations

Une articulation est l'organe d'union de deux ou plusieurs pièces osseuses

Sa fonction principale est de permettre la mobilité entre ces pièces. Il existe plusieurs types d'articulations: les **synarthroses** qui n'ont aucune mobilité: articulation des os du crâne; les **amphiarthroses** ayant une mobilité restreinte: articulation entre les corps des vertèbres par exemple; les **diarthroses**, enfin, qui ont une grande mobilité et contiennent un liquide appelé synovie ou liquide synovial.

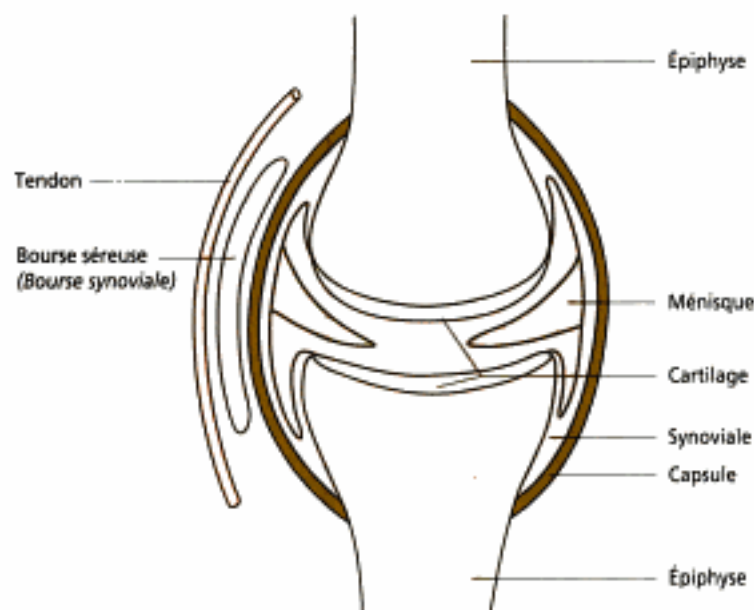


Figure 2.3. Schéma d'une diarthrose en coupe.

La plupart des articulations des membres sont des diarthroses.

Les extrémités osseuses sont revêtues d'un cartilage articulaire lisse et brillant. Des **ménisques** (ou bourrelets) améliorent éventuellement l'adaptation des deux pièces osseuses (figure 2.3). La **capsule** articulaire, renforcée par des ligaments puissants, maintient en contact les deux os. La **membrane synoviale** recouvre l'intérieur de la capsule, délimitant une cavité remplie de liquide.

Les muscles et les tendons qui s'insèrent au voisinage de l'articulation en restent séparés par des **bourses séreuses** dont le rôle est de faciliter le glissement des muscles et des tendons (figure 2.3).

Deux structures caractérisent les articulations

Cartilage articulaire

Il recouvre les extrémités osseuses au niveau de toutes les diarthroses, c'est un tissu blanc laiteux, brillant et lisse; son épaisseur est variable suivant les endroits.

Le cartilage articulaire est un tissu très différencié, avasculaire, pauvre en cellules qui sont appelées les **chondrocytes** et dont le rôle est de fabriquer le tissu cartilagineux. Ce dernier se compose de **fibres collagènes** et de la **substance fondamentale** (constituée de complexes d'hydroxyproline et de glycosaminoglycane, les **protéoglycane**), auxquelles le cartilage doit l'essentiel de ses propriétés physiques d'élasticité et de résistance mécanique. Au cours de la vie, le cartilage se modifie (notamment la substance fondamentale) avec une perte de son élasticité et de sa résistance.

Les possibilités de réparation du cartilage sont réduites car il n'est pas vascularisé et car les chondrocytes ne se renouvellent que très peu à l'âge adulte.

Membrane synoviale

Elle recouvre, à l'exclusion du cartilage et des ménisques, la totalité de la cavité articulaire.

Sa fonction essentielle est d'élaborer le **liquide synovial**, ou **synovie**.

Ce liquide synovial permet d'apporter des produits nutritifs au cartilage; il joue également un rôle de premier plan dans la « lubrification » des surfaces cartilagineuses en contact. Il contient un corps particulier (qui n'existe pas dans le sang), l'acide hyaluronique, responsable de sa viscosité.

La membrane synoviale a aussi un rôle dans l'élimination des débris anormaux que pourrait contenir la cavité articulaire.

Mobilité articulaire

Les articulations et les muscles permettent l'exécution de certains mouvements. Ceux-ci s'effectuent dans des plans différents que l'on peut classer en :

- **Mouvements de flexion-extension**, autour d'un axe transversal (horizontal) : la flexion rapproche les deux segments de l'articulation, alors que l'extension les éloigne (figure 2.4).
- **Mouvements d'abduction et d'adduction** autour d'un axe sagittal (vertical) : l'abduction écarte le membre (ou le segment du membre) de l'axe médian du corps; c'est un mouvement de latéralité externe. L'adduction est un mouvement inverse, c'est un mouvement de latéralité interne (figure 2.5).

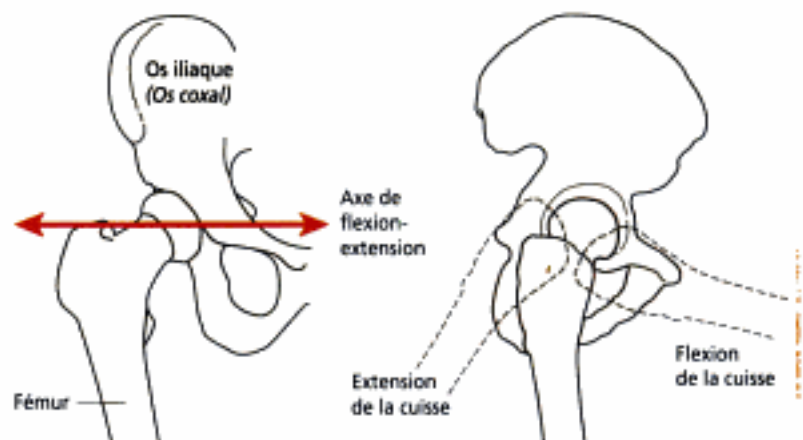


Figure 2.4. Les mouvements de flexion-extension de la hanche.

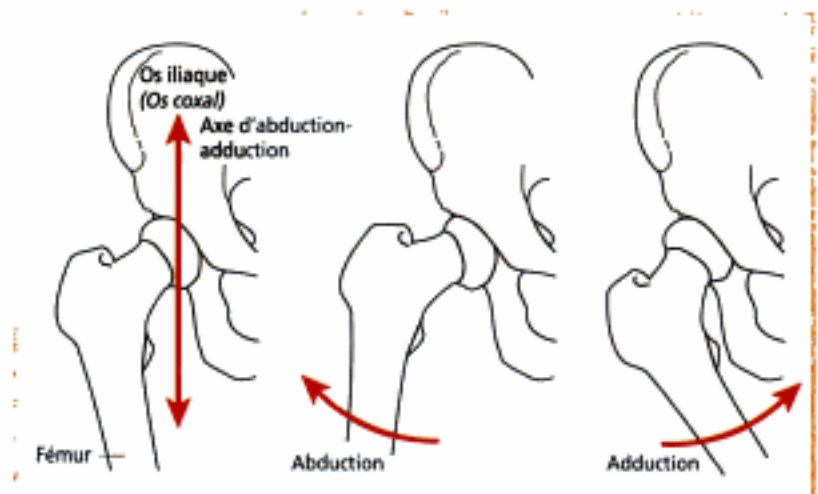


Figure 2.5. Les mouvements d'abduction et d'adduction de la hanche.

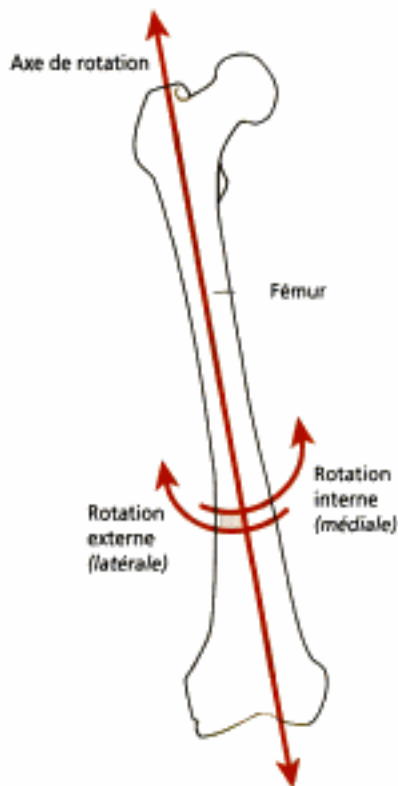


Figure 2.6. Les mouvements de rotation interne et externe de la hanche.

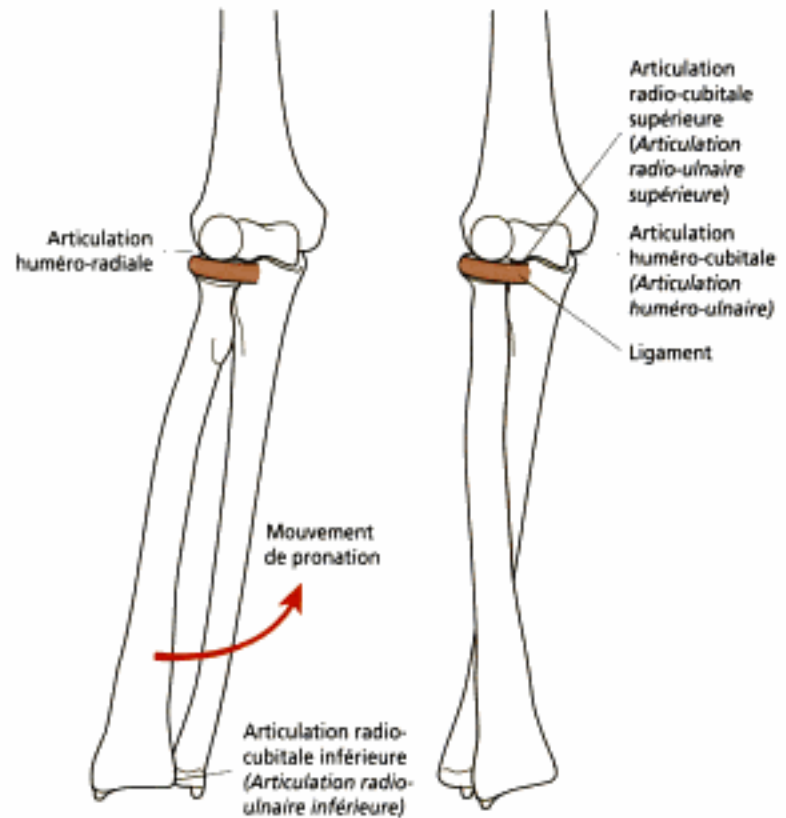


Figure 2.7. Les articulations du coude et les mouvements de pronation-supination. La supination est le mouvement inverse de la pronation.

- **Mouvements de rotation** autour d'un axe passant par la diaphyse de l'os. La rotation interne est le mouvement de rotation du segment du membre en dedans (c'est-à-dire vers l'axe médian du corps). La rotation externe est le mouvement opposé (figure 2.6).

- **Mouvements de pronosupination.** Ils se font uniquement à l'avant-bras dans les articulations du coude et du poignet, autour d'un axe passant par la tête du radius et par la tête du cubitus. La pronation est le mouvement de rotation par lequel le pouce est porté en dedans et la paume de la main en arrière. La supination est le mouvement inverse qui porte le pouce en dehors et la paume de la main en avant. Trois articulations permettent ce type de mouvement de la main : la radio-cubitale supérieure, la radio-cubitale inférieure et l'huméro-radiale (figure 2.7).

► **Muscles et nerfs de l'appareil locomoteur**

Les muscles de l'appareil locomoteur sont des **muscles rouges ou striés**, les seuls capables de se contracter volontairement. Ils assurent le mouvement.

Ils sont composés de deux parties : l'une épaisse et charnue représente le segment contractile : c'est le **corps** ; l'autre, plus étroite, très résistante, s'appelle **tendon** et forme les extrémités du muscle (figure 2.8).

Certains tendons sont courts, d'autres sont très longs ; ils sont alors entourés par une gaine qui permet leur protection, mais aussi facilite leur glissement.

Les **aponévroses** sont les gaines recouvrant les muscles et les séparant les uns des autres.



Le muscle est composé d'une multitude de fibres dont chacune reçoit un rameau d'un nerf moteur en un endroit appelé **plaque motrice**; c'est là que se produisent les phénomènes qui permettent la contraction de la fibre musculaire.

Les muscles de l'appareil locomoteur sont commandés essentiellement par les **nerfs rachidiens**, en relation avec la moelle épinière. On en compte 31 paires : les nerfs cervicaux (8), dorsaux ou thoraciques (12), lombaires (5), et sacrés (voir *Anatomie du rachis*, page 48).

Chaque nerf rachidien va sortir du canal rachidien par un défilé situé latéralement, entre deux

vertèbres, appelé trou de conjugaison, et se divise alors en une branche postérieure qui se distribue à la région dorsale du corps, et une branche antérieure.

Toutes les branches antérieures des nerfs rachidiens naissant au niveau des vertèbres cervicales, lombaires et sacrées vont se réunir (on dit aussi s'anastomoser) pour former des **plexus**. Ces plexus vont à leur tour se diviser en branches collatérales et terminales destinées à l'innervation motrice et sensitive des membres supérieurs (figure 2.9) et inférieurs (figure 2.10) (voir *Anatomie descriptive des membres*, page 27).

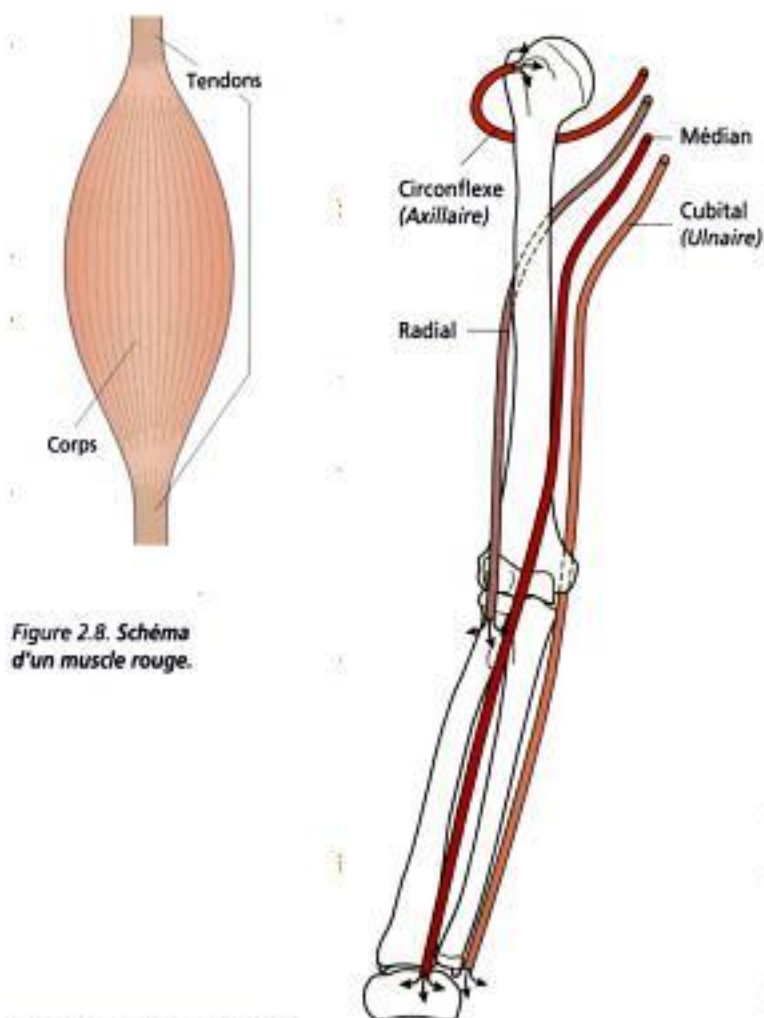


Figure 2.8. Schéma d'un muscle rouge.

Figure 2.9. Trajet des principaux nerfs du membre supérieur. ►

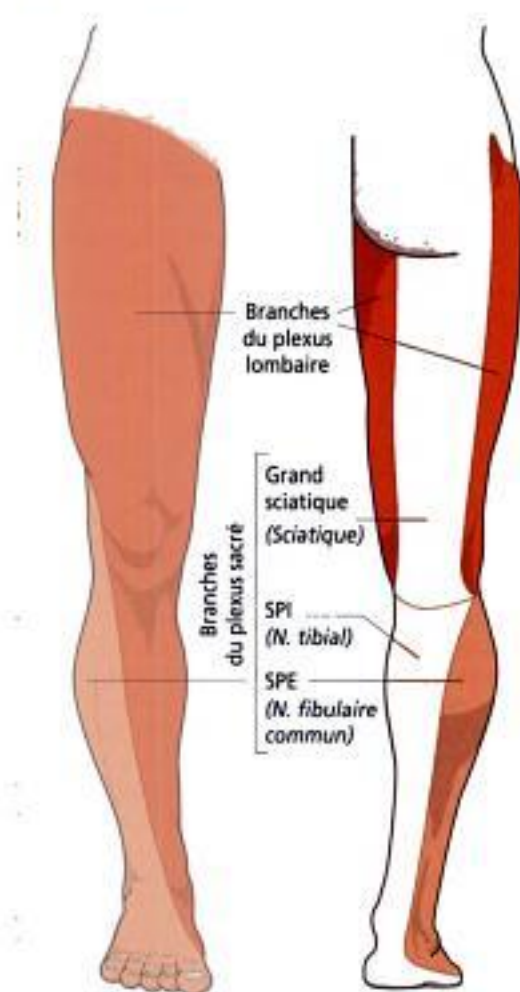


Figure 2.10. Innervation sensitive du membre inférieur.



NOTIONS DE PHYSIOLOGIE NEURO-MUSCULAIRE SQUELETTIQUE

► Les neurones

Les nerfs sont formés, comme l'ensemble du système nerveux, par des cellules appelées neurones. Chaque neurone est constitué d'un corps cellulaire, de plusieurs dendrites et d'un seul axone. Le rôle physiologique des dendrites est de conduire les informations dont ils sont vecteurs en direction

du corps de la cellule. Le rôle des axones est de conduire les messages dont ils sont porteurs du corps cellulaire vers la périphérie : par exemple la plaque motrice d'une fibre musculaire.

► Les fibres musculaires

Le muscle est un tissu spécialisé en ce sens que sa structure est entièrement orientée vers une fonction spécifique : la production du mouvement grâce au caractère contractile de la **cellule musculaire**, encore appelée **fibre musculaire**.

Pour comprendre

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES D'HISTOLOGIE CELLULAIRE MUSCULAIRE

Comme toute cellule, la fibre musculaire est formée des trois constituants fondamentaux : noyau, membrane et cytoplasme.

À la différence de la plupart des cellules, la fibre musculaire renferme plusieurs noyaux dont le nombre peut atteindre, parfois, plusieurs centaines.

La membrane plasmique porte le nom de sarcolemme. Elle présente de nombreuses invaginations tubulaires, perpendiculaires au grand axe de la fibre, constituant le système transverse ou système T. Le système T joue un rôle dans les mécanismes de transfert du calcium et dans l'initiation de la contraction musculaire. À sa surface, le sarcolemme présente une dépression caractéristique, appelée plaque motrice, contiguë à une terminaison nerveuse axonale. L'ensemble forme une synapse : c'est la jonction neuro-musculaire.

Le cytoplasme ou sarcoplasme

Le réticulum endoplasmique est disposé sous forme de réseaux tubulaires longitudinaux, dont les extrémités, renflées en « citernes » viennent au contact du système T. Ce dispositif constitue le système longitudinal. Chaque invagination du système T est ainsi au contact de deux « citernes ».

Le sarcoplasme renferme plusieurs faisceaux de fibrilles, ou **myofibrilles**, disposées parallèlement au grand axe de la cellule et qui s'étendent sur toute la longueur de la fibre musculaire, et des particules de glycogène et de nombreuses mitochondries.

Les myofibrilles

Au microscope optique, elles apparaissent formées d'une succession périodique de bandes claires et de bandes sombres. Ces bandes sont situées au même niveau pour l'ensemble des myofibrilles d'une même fibre, conférant à la cellule musculaire un **aspect strié caractéristique**.

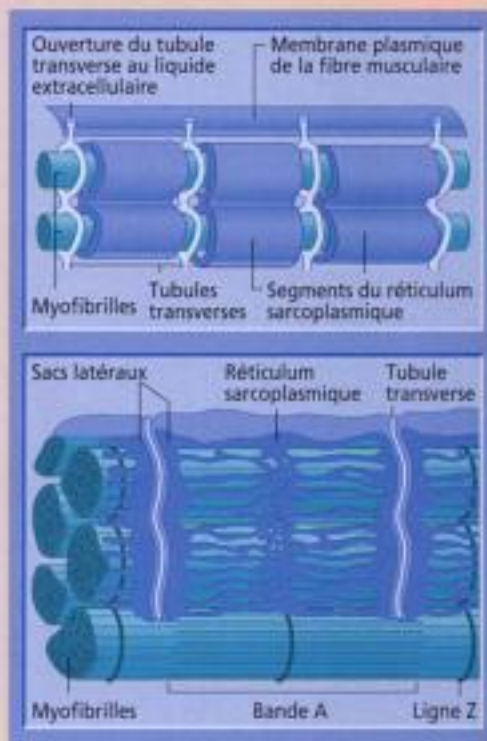
En lumière polarisée, les bandes sombres sont fortement biréfringentes; les bandes claires ne sont que faiblement biréfringentes, et sont partagées en leur milieu par une ligne plus sombre, la strie Z. **La portion de myofibrille comprise entre deux stries Z constitue le sarcomère. C'est l'unité fonctionnelle fondamentale du muscle.** Chaque myofibrille est ainsi formée d'une succession de sarcomères identiques; à chaque extrémité, une myofibrille se termine par une strie Z, d'où partent des filaments qui attachent la myofibrille à la membrane plasmique.

Au microscope électronique, les myofibrilles (figure ci-contre), apparaissent constituées de deux types de filaments longitudinaux (épais et fins), ou myofilaments.

Les myofilaments sont constitués de protéines appelées protéines contractiles, car elles sont responsables de la contraction musculaire. Ce sont l'actine, la myosine, la troponine et la tropomyosine.

La **myosine** a la forme d'un bâtonnet renflé à l'extrémité. Ce renflement, tourné vers l'extérieur, porte le nom de tête de myosine.

Le filament d'**actine** est constitué d'une double hélice d'acides aminés. L'accrochage de la tête de myosine au filament d'actine initie la contraction musculaire.





C'est l'unité fondamentale du muscle, sur les plans structurel et fonctionnel. Elle est de forme cylindrique, plus ou moins allongée, d'une épaisseur de 10 à 100 mm. Suivant leur disposition, au sein du muscle, les cellules musculaires peuvent être très longues, parfois aussi longues que le muscle lui-même, d'où leur nom de fibres musculaires.

Les fibres musculaires qui constituent les muscles sont de deux types. Les **fibres de type I**, dites « lentes », se contractent et se relâchent lentement et sont résistantes à la fatigue; elles tirent leur énergie du métabolisme oxydatif. Les **fibres de type II**, dites « rapides », se contractent et se relâchent rapidement et sont vite fatigables; elles tirent leur énergie de la glycogénolyse (voir encadré sur Les sources d'énergie musculaire, page 26).

► L'unité motrice

L'unité fonctionnelle du système neuro-musculaire est l'unité motrice (figure 2.11), constituée par un motoneurone alpha (avec un corps cellulaire dans la corne antérieure de la moelle et un prolongement axonal dans le nerf périphérique) et par l'ensemble des fibres musculaires innervées par ce motoneurone. Ainsi chaque cellule nerveuse permet la contraction d'un certain nombre de fibres musculaires qui lui correspondent en propre et qui sont toutes du même type.

Pour comprendre

BASES MOLÉCULAIRES DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

Lors de la contraction, les sarcomères des myofibrilles diminuent de longueur, les myofilaments d'actine et de myosine ne changent pas de longueur. Les myofilaments fins d'actine glissent entre les myofilaments épais de myosine et s'engagent vers le centre du sarcomère.

Les têtes de myosine viennent s'attacher aux filaments d'actine formant ainsi des complexes d'actomyosine. Elles pivotent ensuite vers le centre du sarcomère, provoquant le déplacement des filaments d'actine et le rapprochement des stries Z. Ceci détermine le raccourcissement de chaque sarcomère, qui engendre lui-même celui des myofibrilles, donc des fibres musculaires et du muscle entier.

La dépolarisation du sarcolemme, ou potentiel d'action musculaire, induit, via le système T, la libération dans le cytoplasme d'ions calcium (contenus dans les « citernes » du système longitudinal). Ceci aboutit à la formation des ponts d'actomyosine et à la contraction.

Le nombre de fibres musculaires d'une unité motrice et leur mode de recrutement varient en fonction de la taille et des propriétés fonctionnelles du motoneurone alpha qui les innerve. Les unités motrices d'un muscle à fonction posturale possèdent plusieurs centaines de fibres musculaires alors que les muscles exerçant un mouvement fin et précis ont peu de fibres par unité motrice.

► Mécanismes de la contraction musculaire

Les phénomènes qui permettent la contraction de la fibre musculaire se produisent essentiellement au niveau de la plaque motrice. L'excitation du nerf moteur produit, en effet, à l'intérieur de la plaque la libération d'une substance, l'acétylcholine.

L'acétylcholine est capable de produire, par l'intermédiaire de modifications électriques (dépolarisation du sarcolemme), la contraction de la fibre. L'acétylcholine est alors détruite par la cholinestérase; une nouvelle contraction devient possible.

Certains produits comme le curare empêchent l'action de l'acétylcholine; la transmission de l'influx

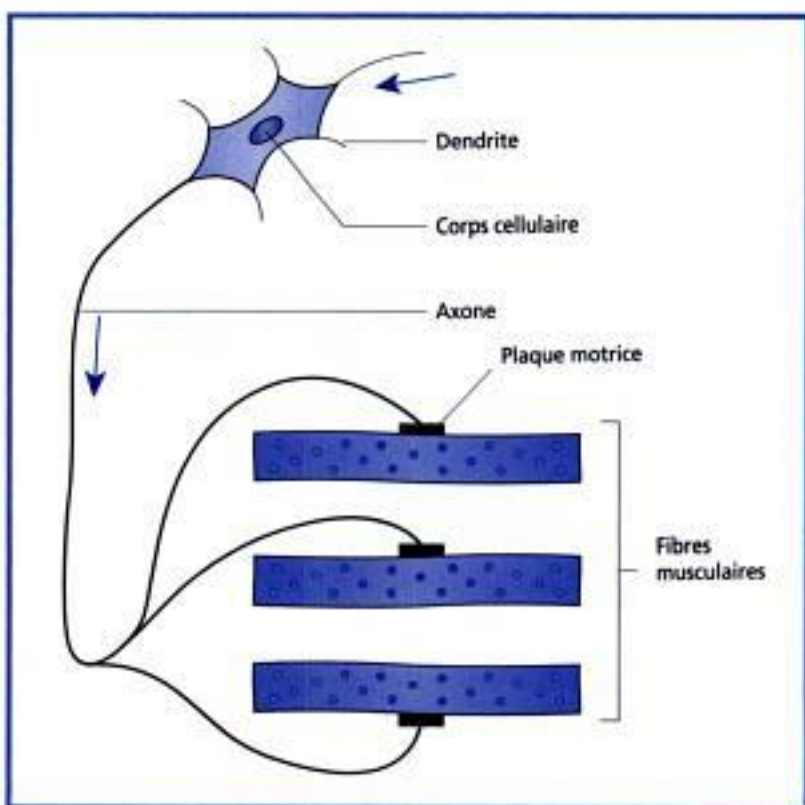


Figure 2.11. Schéma de l'unité motrice.



Pour comprendre

SOURCES D'ÉNERGIE DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

La contraction musculaire aboutit normalement à la réalisation d'un mouvement, c'est-à-dire à la production d'une énergie mécanique. Ceci est le résultat de la transformation d'une énergie chimique initiale en travail mécanique. Le muscle est un transformateur d'énergie chimique en énergie mécanique et en énergie thermique.

L'ATP, source d'énergie

Dans l'organisme, l'énergie chimique est emmagasinée et utilisée à partir d'une molécule riche en énergie : l'adénosine triphosphate ou ATP. Ce qui caractérise les liens entre deux phosphates, c'est l'énergie qui leur est associée. Pour établir une telle liaison, une grande quantité d'énergie doit être apportée à la réaction. À l'inverse, lorsqu'elles sont rompues, les liaisons rendent leur énergie.

Cette molécule est présente dans toutes les cellules vivantes. On la trouve donc au sein de la cellule musculaire, où, en revanche, elle n'existe, à un moment donné, qu'en faible quantité.

Si la demande énergétique est importante, l'utilisation des simples réserves en ATP de la cellule musculaire s'avère insuffisante. Pourtant, sa resynthèse permanente, à partir d'autres substrats énergétiques, est nécessaire puisque seule l'hydrolyse de l'ATP permet la transformation de l'énergie chimique en énergie mécanique lors de la contraction musculaire.

Les voies énergétiques de la contraction musculaire

Trois voies énergétiques sont utilisées lors de l'exercice physique. L'intervention préférentielle de l'une ou de l'autre dépend de l'intensité et de la durée de l'exercice.

Selon qu'elles font, ou non, appel à l'oxygène pour les dégradations métaboliques, ou qu'elles produisent de l'acide lactique, ces voies métaboliques sont appelées anaérobie alactique, anaérobie lactique, aérobie.

– La **voie anaérobie alactique** utilise directement l'hydrolyse immédiate de l'ATP et celle de la créatine phosphate, ou phosphocréatine, en réserve dans le muscle. Sa mise en jeu ne nécessite aucun délai et elle peut fournir, immédiatement, l'énergie nécessaire avec un débit très élevé. C'est pourquoi elle constitue le substrat essentiel lors des exercices dits « explosifs ». L'organisme doit faire davantage appel aux autres voies métaboliques si l'exercice se prolonge.

– La **voie anaérobie lactique** ou glycogénolyse est très rapide également. Elle consiste en une dégradation partielle du glycogène en acide lactique, qui s'accompagne de la formation d'ATP. Le glycogène est la source d'énergie de choix et il est stocké dans le muscle. L'énergie libérée par cette voie est immédiate et augmente très rapidement. Elle est essentielle pour tous les exercices brefs et intenses (dans les exercices de sprint par exemple). Ici, à la différence de la voie énergétique précédente, ce n'est pas la quantité de substrat, en l'occurrence le glycogène, qui limite l'exercice, mais la baisse du pH cellulaire; l'acidose cellulaire induite est très mal tolérée (apparition de crampes musculaires).

– La **voie aérobie**, à la différence des deux autres voies énergétiques, nécessite de l'oxygène. L'apport en oxygène est assuré par un ensemble d'ajustements du système cardio-respiratoire, lesquels nécessitent un délai. Elle fonctionne bien sûr en permanence, mais elle devient la voie prépondérante pour les exercices dépassant 2 minutes. Les principaux substrats utilisés sont les glucides, avec un « rendement » important, et les lipides, avec une vitesse de formation de l'énergie très lente.

entre le nerf et le muscle est alors bloquée, entraînant une paralysie.

D'autres produits ont une action dirigée contre la cholinestérase et entraînent également un trouble de transmission entre le nerf et le muscle (produits anticholinestérasiques).

► Tension et contraction musculaire

Le muscle est doté d'un appareil sensoriel qui transmet au système nerveux central les données concernant son état : tension, longueur.

Il est doté de propriétés élastiques; lorsqu'il est stimulé, sa tension augmente.

Une contraction musculaire peut être :

- « **isométrique** » : la longueur du muscle reste constante, mais la tension développée change;
- « **isotonique** » : la longueur du muscle varie, mais la tension reste constante;
- « **auxotonique** » : la longueur et la tension changent.

La contraction d'une fibre musculaire, ou son relâchement

À l'état normal, elle est d'emblée à son maximum; ce qui revient à dire qu'une fibre musculaire est soit en état de relâchement complet, soit en état de contraction maximale.

Mais toutes les fibres d'un muscle ne sont pas forcément excitées simultanément, d'où les variations de la force de contraction. Lors d'une contraction musculaire d'intensité croissante, la gradation se fait par un double mécanisme : augmentation progressive du nombre d'unités motrices mises en jeu, surtout (sommeation spatiale), augmentation de la fréquence de décharge de chaque unité motrice (sommeation temporelle).

Si la fréquence de stimulation augmentait de façon excessive, on aboutirait à la contraction maximale possible de l'unité motrice, qui caractérise le téτανos.

Le tonus réflexe de la musculature squelettique

Il est en général consécutif à un potentiel d'action d'unités motrices isolées.

Les muscles posturaux, en particulier, paraissent en état de repos alors qu'ils sont, de manière involontaire, dans un état de tension (état qui peut être augmenté, par exemple, par une attention plus soutenue).

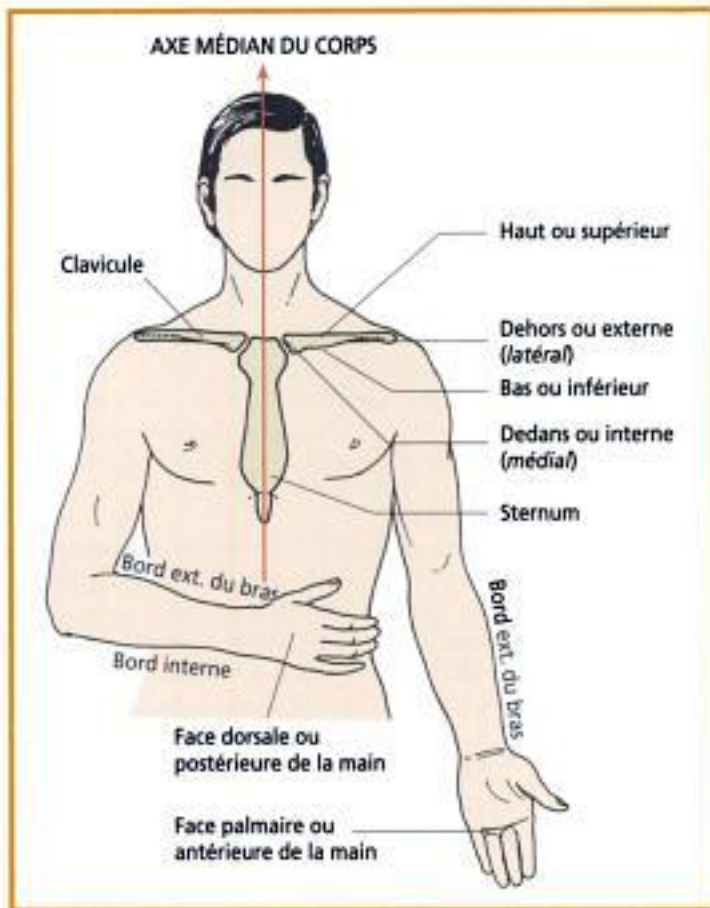


Figure 2.12. Axe médian du corps. Position des membres supérieurs.

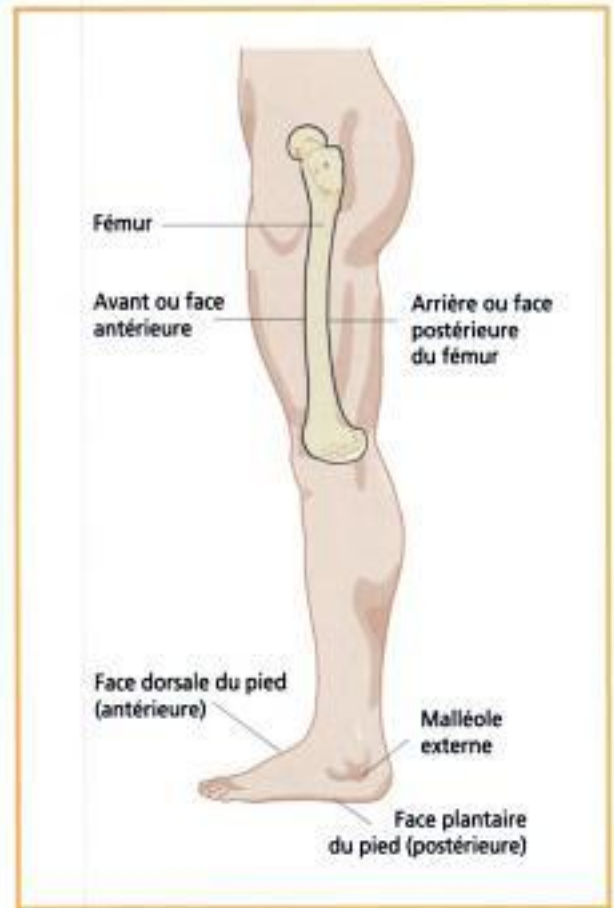


Figure 2.13. Vue latérale externe du membre inférieur gauche.

ANATOMIE DESCRIPTIVE

La description de l'anatomie utilise un certain nombre de termes topographiques qu'il est nécessaire de préciser pour une bonne compréhension du texte. En effet, les différents éléments de l'appareil locomoteur sont en majorité pairs et symétriques par rapport à l'axe médian du corps (figure 2.12).

C'est pour cela que la dénomination droite ou gauche est incomplète et amène à utiliser, selon le segment considéré, les termes : externe-interne, ou dehors-dedans ; haut-bas ou supérieur-inférieur ; antérieur-postérieur ou avant-arrière.

La paume de la main (face antérieure ou palmaire) s'oppose au dos de la main (face postérieure ou dorsale), le bord externe est celui où se trouve le pouce, le bord interne celui du dernier doigt (figure 2.12).

Au pied, la plante est encore appelée la face postérieure (ou plantaire), qui s'oppose à la face dorsale (ou antérieure) (figure 2.13).

► Anatomie des membres supérieurs

Omoplate

L'omoplate est un os plat, de forme triangulaire à pointe inférieure, appliqué sur la face postérieure et supérieure du thorax. Sa face postérieure est divisée en deux parties par une saillie transversale appelée épine de l'omoplate, qui se continue en dehors par une volumineuse apophyse appelée l'acromion, articulée avec la clavicule. Au-dessus de l'épine, se trouve la fosse sus-épineuse ; au-dessous se trouve la fosse sous-épineuse (figure 2.15). C'est dans le tissu cellulaire sous-cutané des fosses sus- et sous-épineuses que se font habituellement les injections de vaccins.

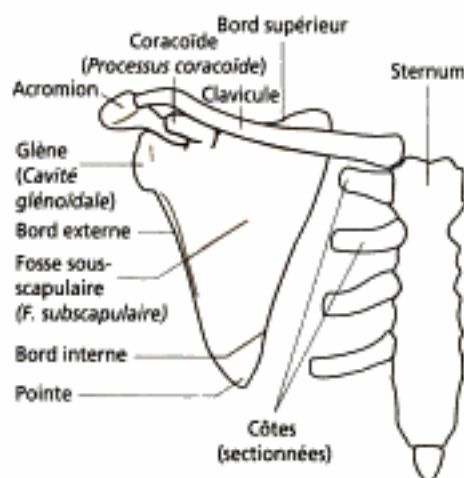


Figure 2.14. Vue antérieure de l'omoplate.

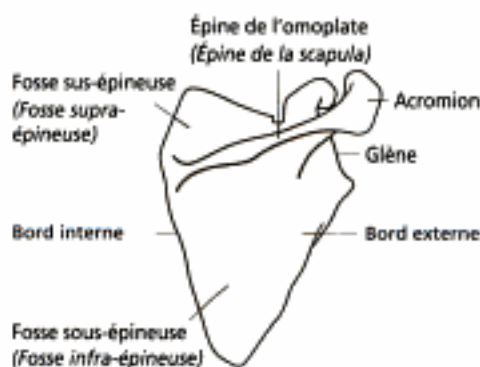


Figure 2.15. Vue postérieure de l'omoplate.

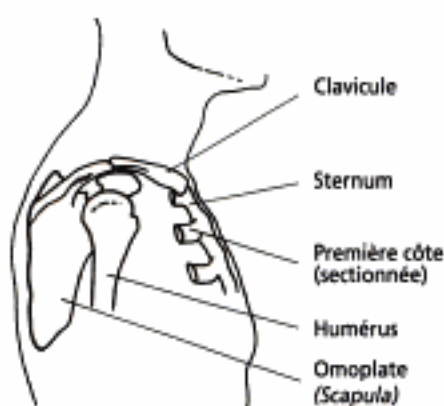
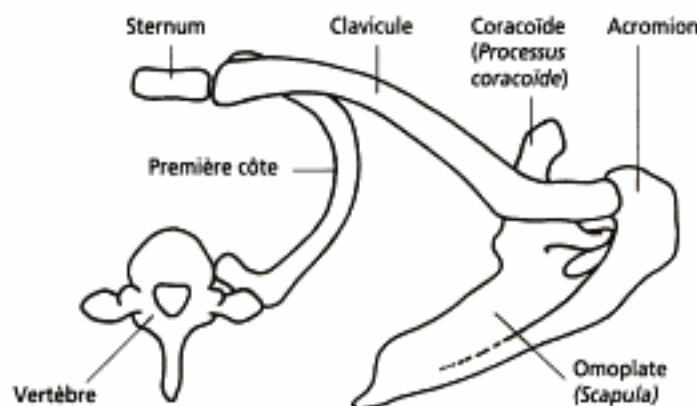


Figure 2.16. L'omoplate et la ceinture scapulaire (vue supérieure et vue latérale).

L'angle externe est constitué par la cavité glénoïde (ou glène de l'omoplate), surface articulaire qui s'articule avec la tête de l'humérus. La cavité glénoïde est supportée par le col de l'omoplate sur lequel s'implante une pièce osseuse en forme de demi-doigt fléchi : l'apophyse coracoïde (figure 2.14).

Clavicule

La clavicule est un os long et aplati situé à la partie supérieure du thorax. Elle est fixée au sternum en dedans et à l'omoplate en dehors par l'intermédiaire de l'acromion.

L'ensemble des deux omoplates, des deux clavicules et des articulations qui les unissent constitue la **ceinture scapulaire** (figure 2.16).

Humérus

L'humérus (figure 2.17) constitue le squelette du bras. C'est un os long articulé avec l'omoplate en haut, avec le cubitus et le radius en bas; il est en contact étroit avec l'artère humérale et les nerfs radial et cubital; tout traumatisme de cet os, qu'il s'agisse de la diaphyse ou des épiphyses, risque de se compliquer de graves lésions vasculo-nerveuses.

Il présente, comme tous les os longs : une **diaphyse**, point d'attache de muscles volumineux; une **épiphyse supérieure**, une **épiphyse inférieure** :

- L'épiphyse supérieure comprend quatre parties, de haut en bas :

- la tête de l'humérus, surface sphérique revêtue de cartilage s'articulant de façon très lâche avec la cavité glénoïde de l'omoplate;
- le col anatomique : sillon circulaire suivant de très près le rebord cartilagineux de la tête, et séparant cette dernière;



– deux **tubérosités**, où s'insèrent les tendons mobilisateurs de l'épaule (coiffe des rotateurs) : le trochin ou petite tubérosité, le trochiter ou grosse tubérosité, qui sont séparés l'un de l'autre par une gouttière appelée coulisse bicipitale, dans laquelle passe le tendon du long biceps, à l'intérieur même de l'articulation de l'épaule ;

– enfin, le **col chirurgical** est une zone transversale un peu rétrécie, située au-dessous des deux tubérosités et unissant la tête humérale à la diaphyse proprement dite ; c'est le siège le plus fréquent des fractures de la tête humérale.

● **L'épiphyse inférieure** comprend :

– une **partie moyenne, articulaire**, qui s'unit aux deux os de l'avant-bras ; la trochlée humérale s'articule avec le cubitus, le condyle de l'humérus s'articule avec le radius ;

– deux saillies **latérales** ou **apophyses**, sont appelées : en dedans l'**épitrochlée** et en dehors l'**épicondyle**, où s'insèrent les tendons des muscles correspondants.

Cubitus

Il constitue avec le radius le squelette de l'avant-bras (figure 2.18). C'est un os long situé entre l'humérus et les os du carpe, en dedans du radius (donc au bord interne de l'avant-bras).

– L'**extrémité supérieure** du cubitus est constituée de deux renflements osseux ou apophyses : l'une est verticale : l'**olécrane**, perçue sous la peau à la face postérieure du coude ; l'autre est horizontale : l'**apophyse coronoïde**.

– La **grande cavité sigmoïde** est la surface formée par les réunions des deux apophyses précédentes. Elle s'articule de manière parfaite avec la trochlée humérale.

– La **petite cavité sigmoïde** est également une surface articulaire, mais de petite taille, située à la face externe du cubitus et s'articulant avec la tête radiale.

– L'**extrémité inférieure**, légèrement renflée, porte le nom de **tête du cubitus**. Elle s'articule avec l'extrémité correspondante du radius. Sa partie postérieure, saillante, est bien perçue à la palpation du poignet (région postéro-interne) : c'est la **styloïde cubitale**.

Radius

C'est un os long situé entre l'humérus et le carpe, en dehors du cubitus, donc au bord externe de l'avant-bras (figure 2.18).

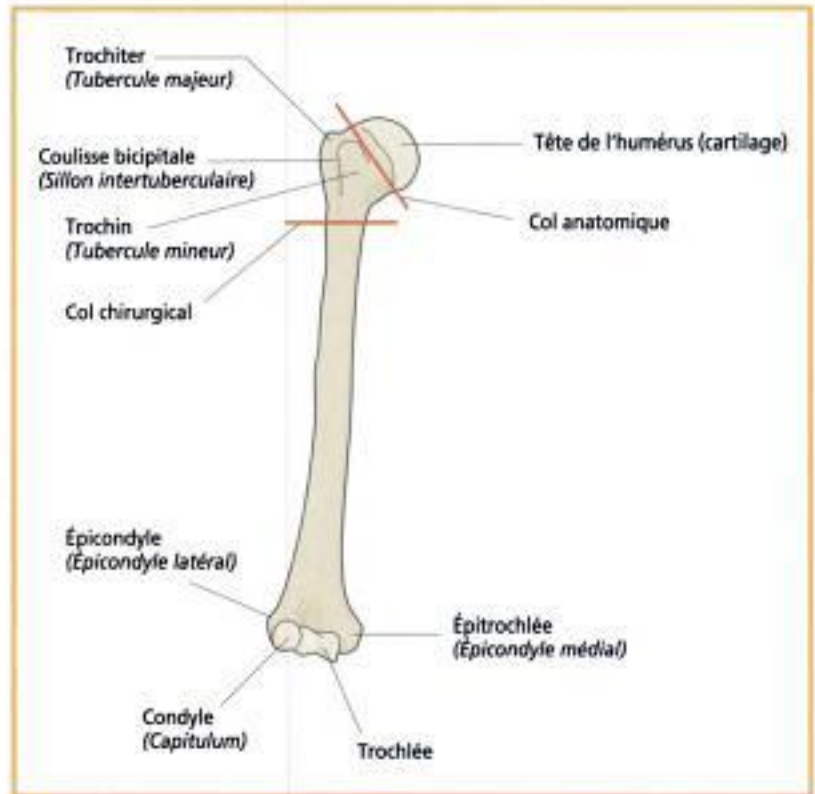


Figure 2.17. L'humérus droit (face antérieure).

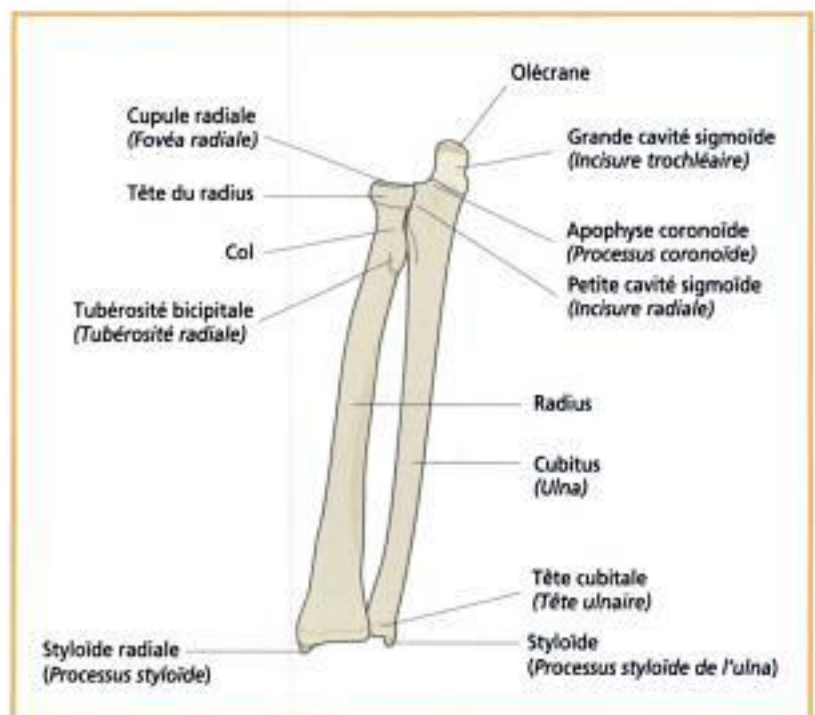


Figure 2.18. Le radius et le cubitus (face antérieure).



• L'extrémité supérieure comprend :

- La tête : c'est une saillie de forme cylindrique, légèrement excavée à sa face supérieure, s'articulant avec le condyle de l'humérus. Par son versant interne, la tête radiale s'articule aussi avec la petite cavité sigmoïde du cubitus.
- Le col, partie rétrécie de l'os située immédiatement en dessous de la tête.

– La tubérosité bicipitale, saillie localisée à partie interne de l'os, donnant insertion au tendon du long biceps (voir plus loin).

• L'extrémité inférieure est volumineuse et perçue à la palpation du bord externe du poignet. Sa face postérieure est creusée de gouttières pour permettre le passage des tendons extenseurs des doigts et du poignet. Sa face inférieure s'articule avec la première rangée des os du carpe.

Os du carpe

Ils constituent, avec l'extrémité inférieure du radius et du cubitus, le squelette du poignet (figure 2.19). Ils sont au nombre de 8, solidement unis entre eux par de puissants ligaments et constituent le massif carpien.

La rangée supérieure comprend, de dehors en dedans : les os scaphoïde, semi-lunaire, pyramidal et pisiforme. La rangée inférieure comprend, de dehors en dedans : le trapèze, le trapézoïde, le grand os et l'os crochu.

Les os du carpe réunis entre eux forment une espèce de cuvette concave en avant et recouverte par le ligament annulaire. Ainsi est créé un véritable canal dans lequel s'engagent les tendons fléchisseurs des doigts et le nerf médian (figure 2.20). Le syndrome du canal carpien traduit l'irritation du nerf médian dans ce trajet.

Le massif carpien s'articule avec : en haut l'extrémité inférieure du radius, et en bas les métacarpiens.

Métacarpe

Il constitue le squelette de la paume de la main. Il se compose de cinq os longs appelés les métacarpiens (figure 2.21). On les désigne, en allant de dehors en dedans, sous le nom de premier, deuxième, troisième, quatrième et cinquième métacarpiens.

Tous sont constitués d'un corps ou diaphyse, d'une extrémité supérieure, ou base, articulée avec le carpe, d'une extrémité inférieure, ou tête, articulée avec la première phalange de chaque doigt.

Ces os limitent entre eux les espaces interosseux (1^{er} espace interosseux entre le premier et le deuxième métacarpien et ainsi de suite).

Phalanges

Chaque doigt possède trois segments osseux : les phalanges, sauf le pouce qui en a seulement deux. Allant du poignet à l'extrémité des doigts, on désigne ces os sous le nom de première phalange ou P1, puis phalangine ou deuxième phalange ou P2, enfin phalangette ou troisième phalange ou P3.

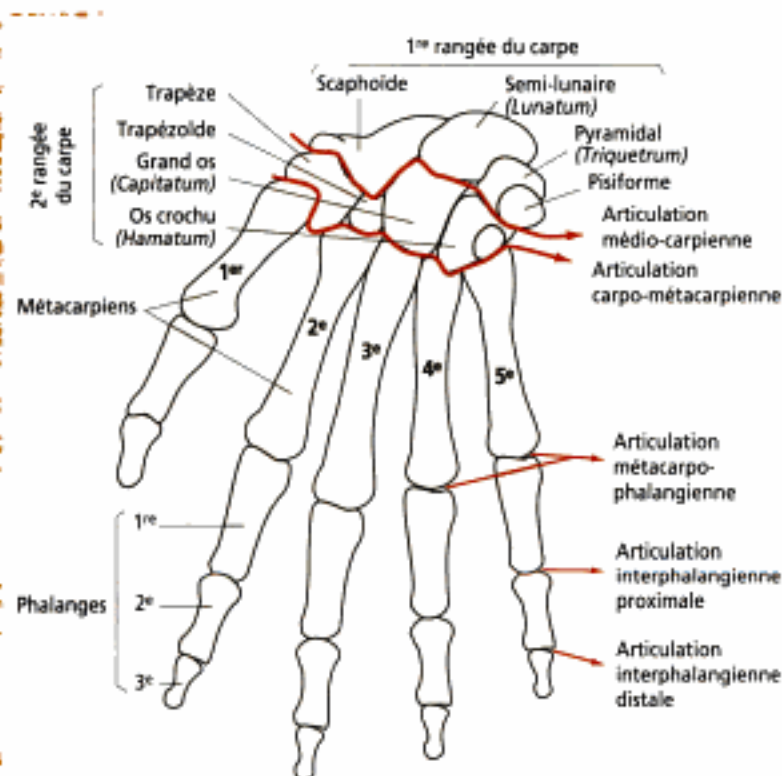


Figure 2.19. Le squelette de la main.

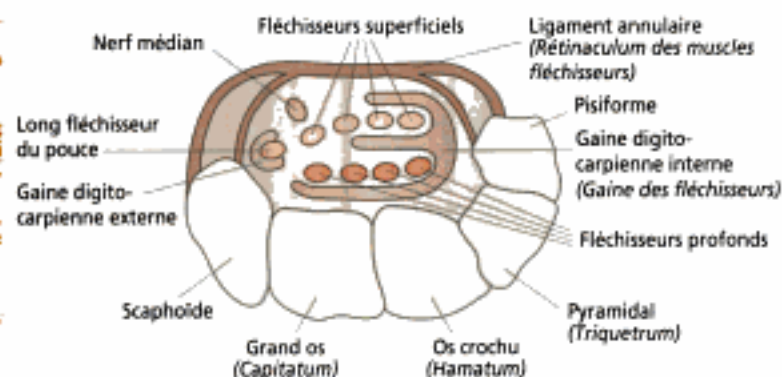


Figure 2.20. Coupe du canal carpien.



Articulations

Articulation de l'épaule

Elle est fonctionnellement composée de plusieurs articulations (figure 2.21), qui entrent en jeu et lui permettent plusieurs types de mouvements, qui se combinent : rotation externe et interne, abduction et adduction, flexion ou antépulsion et extension ou rétropulsion.

- **Articulation scapulo-humérale, ou gléno-humérale.** C'est la principale, qui unit l'omoplate à l'humérus. Les surfaces articulaires en présence ne s'emboîtent pas parfaitement, la cavité glénoïde étant insuffisamment concave par rapport à la courbure bien sphérique de la tête humérale. L'existence d'un « bourrelet » glénoïdien corrige cette imperfection.

Les moyens d'union des deux os sont formés par une capsule articulaire, des ligaments, certains tendons et muscles (coiffe des rotateurs). L'ensemble de l'articulation scapulo-humérale est protégé par un muscle volumineux, le muscle deltoïde, dont elle est séparée par une bourse séreuse (figure 2.21), la bourse sous-acromio-deltoidienne.

- Les autres articulations de l'épaule sont :

- l'articulation acromio-claviculaire qui unit l'acromion à l'extrémité externe de la clavicule. La mobilité de cette articulation est des plus réduites et ne permet que des mouvements de glissement très limités ;
- l'articulation sterno-claviculaire, qui unit le sternum à la clavicule ;
- un plan de glissement omo-thoracique, qui permet le déplacement de l'omoplate sur le thorax.

Articulation du coude

Elle se compose de trois articulations (figure 2.7) :

- l'articulation huméro-cubitale par laquelle l'humérus (au niveau de la trochlée) s'unit au cubitus (grande cavité sigmoïde) ;
- l'articulation huméro-radiale par laquelle l'humérus (condyle) s'unit à la tête du radius (cupule radiale). Toutes deux participent aux mouvements de flexion-extension du coude.
- l'articulation radio-cubitale supérieure par laquelle la tête du radius s'unit à la petite cavité sigmoïde du cubitus. Cette cavité est transformée en un cylindre par un solide ligament tendu entre ses deux extrémités et s'enroulant autour de la tête radiale sans y adhérer. Le radius reste ainsi libre de tourner autour du cubitus, quelle que soit la position du coude. Cette articulation assure les

mouvements de pronation et de supination, conjointement avec l'articulation radio-cubitale inférieure du poignet.

Articulation du poignet

Elle est constituée (figure 2.22) :

- de l'articulation radio-cubitale inférieure, unissant l'extrémité inférieure du radius à la tête du cubitus. Le moyen d'union essentiel de cette

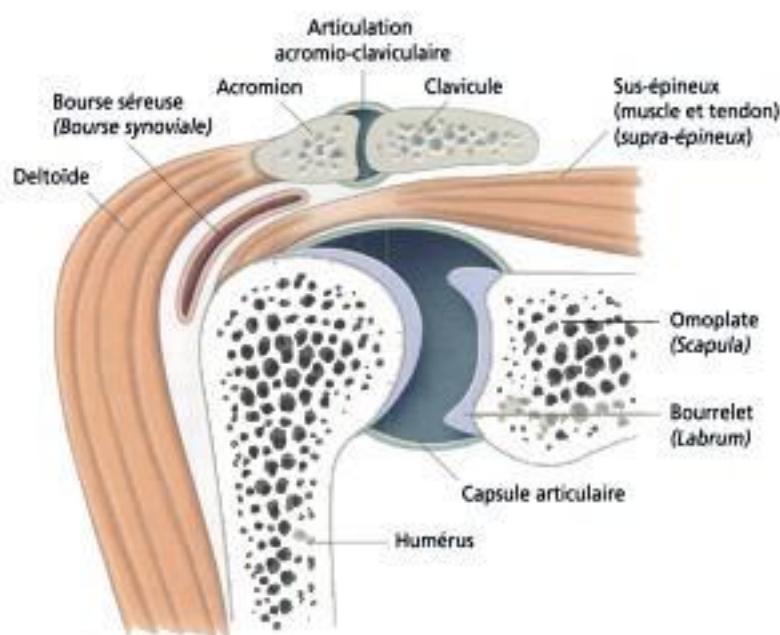


Figure 2.21. Coupe de l'articulation de l'épaule.

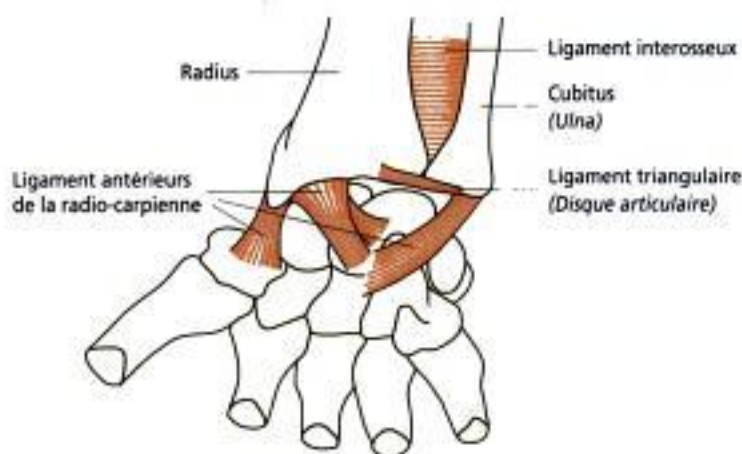


Figure 2.22. L'articulation du poignet.



articulation, qui participe à la prono-supination, est le ligament triangulaire;

- de l'articulation **radio-carpienne**, qui unit l'avant-bras à la main. Elle met en contact l'extrémité inférieure du radius et la rangée supérieure des os du carpe. Elle permet les mouvements de flexion et d'extension du poignet.

Articulations de la main (figure 2.19)

- L'articulation **médio-carpienne** réunit les trois os du condyle carpien, c'est-à-dire le scaphoïde, le semi-lunaire et le pyramidal, aux quatre os de la deuxième rangée des os du carpe, c'est-à-dire le trapèze, le trapézoïde, l'os crochu et le grand os. Cette articulation participe, avec la radio-carpienne, aux mouvements de flexion du poignet.

- Les articulations **carpo-métacarpiennes**. Une seule possède une grande mobilité : c'est celle qui unit le premier métacarpien et le trapèze. Cette articulation appelée **trapézo-métacarpienne** permet, entre autre, l'opposition du pouce sur les autres doigts. Ses lésions traumatiques et la survenue d'une arthrose (rhizarthrose du pouce) retentiront donc sur la valeur fonctionnelle de la main. Les autres articulations carpo-métacarpiennes unissent les os de la deuxième rangée du carpe aux quatre derniers métacarpiens.

- Les articulations **métacarpo-phalangiennes** (ou **MCP**) sont celles qui unissent la tête du métacarpien à l'extrémité ou base de la première phalange. Elles bénéficient d'une grande mobilité pouvant accomplir des mouvements de flexion, d'extension, de latéralité.

- Les articulations **interphalangiennes** unissent les phalanges entre elles. Il en existe deux pour chaque doigt, à l'exception du pouce qui n'en possède qu'une; l'articulation entre les 1^{re} et 2^e phalanges est appelée **interphalangienne proximale** (ou **IPP**), celle entre les 2^e et 3^e phalanges **interphalangienne distale** (ou **IPD**).

Muscles

Muscles moteurs du bras

- L'**abduction**, ou élévation latérale du bras, est assurée par le deltoïde, le plus important (qui constitue en grande partie le relief musculaire de l'épaule), et par le sus-épineux (dont le tendon adhère à la capsule articulaire).
- L'**adduction** porte le bras en dedans sous l'action du grand pectoral et du grand rond.

- La **flexion du bras en avant**, encore appelée **antépulsion**, dépend surtout du faisceau antérieur du deltoïde, et du coraco-brachial.

- L'**extension du bras en arrière** ou **rétrépulsion**, est permise par l'action du faisceau postérieur du deltoïde et par le grand dorsal.

- Les **muscles rotateurs externes du bras** sont le sous-épineux qui se termine sur le trochiter par un tendon, et le petit rond.

- La **rotation interne du bras** est principalement assurée par le sous-scapulaire, qui se termine par un tendon sur le trochin.

Coiffe des rotateurs : on désigne par ce terme le manchon tendineux qui adhère à la capsule de l'articulation de l'épaule, et qui est constitué par la terminaison sur l'humérus des tendons du sous-épineux, du petit rond, du sus-épineux et du sous-scapulaire. La fonction commune de ces muscles est de maintenir la tête humérale en position dans la cavité articulaire de l'omoplate.

Les lésions tendineuses de la « coiffe » sont très fréquentes en pathologie (périarthrite scapulo-humérale, tendinites).

Muscles moteurs de l'avant-bras

Tous ces muscles s'insèrent sur l'humérus ou l'omoplate et se terminent sur la partie haute des deux os de l'avant-bras. Les muscles de la face postérieure du bras permettent l'extension du coude, alors que les muscles de la face antérieure du bras permettent la flexion du coude.

- Les **muscles fléchisseurs de l'avant-bras sur le bras** (figure 2.23) sont le **biceps brachial**, le plus important, formé de deux chefs (courte portion et longue portion), et le **brachial antérieur**.

- Les **muscles extenseurs de l'avant-bras sur le bras** sont le **triceps brachial**, prépondérant, et l'**anconé**.

Muscles moteurs du poignet

- La **pronation** qui porte la paume de la main en arrière, est assurée par le rond pronateur et le carré pronateur.

- La **supination** qui porte la paume de la main en avant est assurée par le court supinateur, le long supinateur, et accessoirement le biceps brachial.

- La **flexion de la main sur l'avant-bras** est assurée par le grand palmar et le petit palmar, qui sont situés à la face antérieure de l'avant-bras.

- L'**extension de la main** est assurée par les muscles radiaux situés à la région postéro-externe de l'avant-bras : 1^{er} radial et 2^e radial.



- Les **adducteurs de la main** portent le bord interne de la main (5^e doigt) vers l'intérieur. Ce sont le cubital antérieur et le cubital postérieur.
- Les **abducteurs de la main** portent le bord externe de la main (pouce) vers l'extérieur. Deux groupes musculaires principaux contribuent à ce mouvement, les palmaires et les radiaux, qui sont aussi respectivement fléchisseurs et extenseurs de la main.

Muscles moteurs des doigts

- Les **fléchisseurs des doigts** sont placés à la face antérieure de l'avant-bras.

Le fléchisseur commun profond et le fléchisseur commun superficiel des doigts s'étendent de la partie antérieure de l'avant-bras, se transforment en tendons (4 pour le fléchisseur profond, 4 pour le fléchisseur superficiel) qui passent dans le canal carpien (figure 2.20), accompagnés du nerf médian, avant de s'insérer sur la face palmaire des 2^e et 3^e phalanges de chaque doigt.

La flexion du pouce est commandée par un muscle distinct des précédents, le long fléchisseur du pouce. Le tendon qui termine ce muscle passe aussi dans le canal carpien.

- Les **extenseurs des doigts** sont placés à la partie postérieure de l'avant-bras.

L'extenseur commun des doigts est le plus superficiel, divisé en 4 tendons à sa partie inférieure pour les 4 derniers doigts.

L'index et le dernier doigt bénéficient chacun d'un extenseur supplémentaire : extenseur propre de l'index et extenseur propre du 5^e doigt.

Enfin, l'extension du pouce est assurée par deux muscles distincts des précédents : long extenseur du pouce et court extenseur du pouce.

- Les **muscles interosseux** ont pour action principale de permettre les mouvements d'écartement et de rapprochement des doigts de la main. Ces muscles sont situés dans les espaces limités par les métacarpiens.

- Les **muscles de l'éminence thénar**. Ce groupe musculaire, situé à la partie externe de la paume de la main, est destiné à la mobilité du pouce : adducteur du pouce, court fléchisseur, court abducteur, et surtout l'opposant du pouce, muscle de grande importance permettant de porter le premier métacarpien en avant et en dedans (il « oppose » le pouce aux autres doigts).

- Les **muscles de l'éminence hypothénar** constituent le groupe musculaire interne de la main.

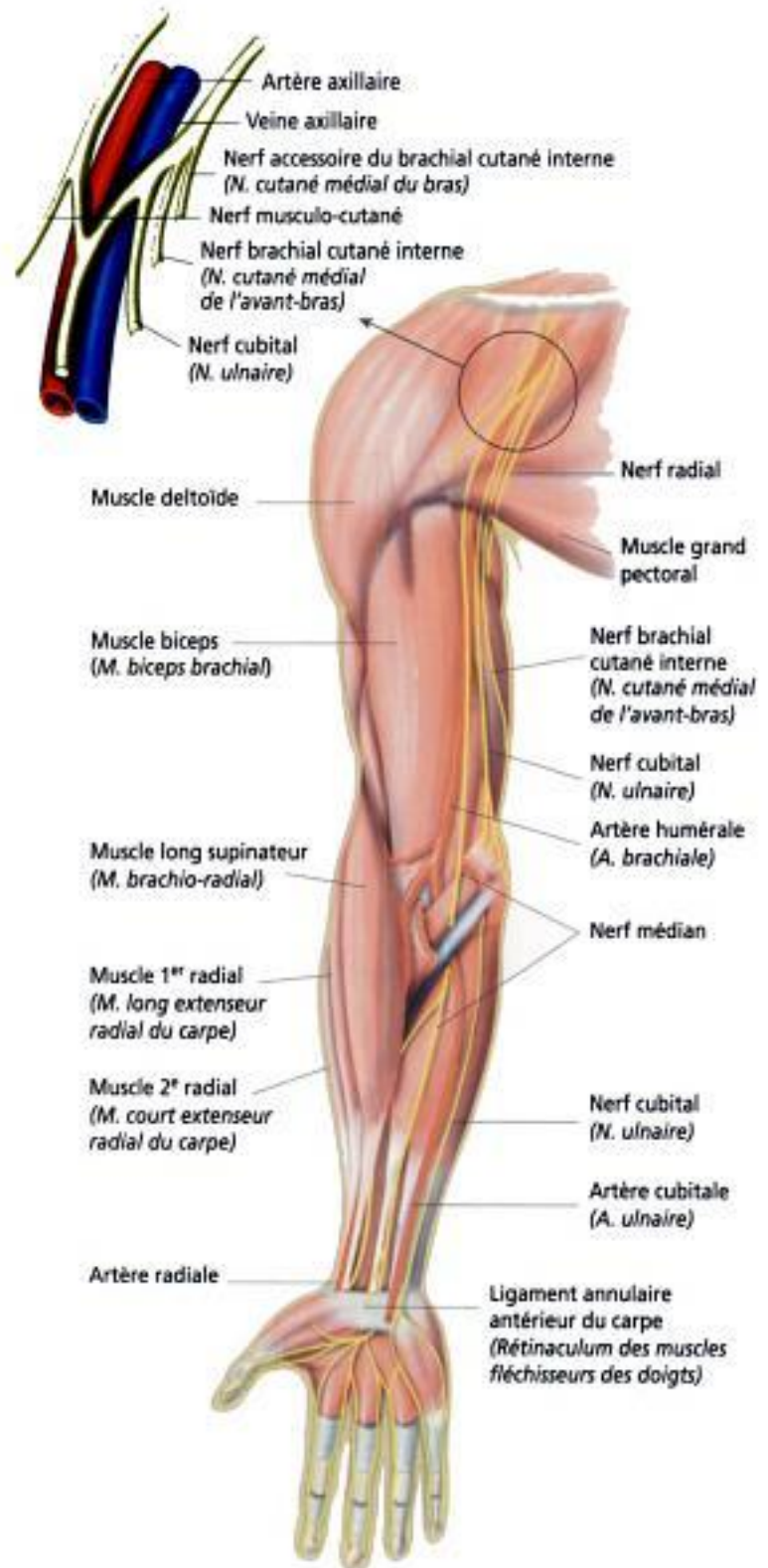


Figure 2.23. Les membres supérieurs : artères et nerfs.

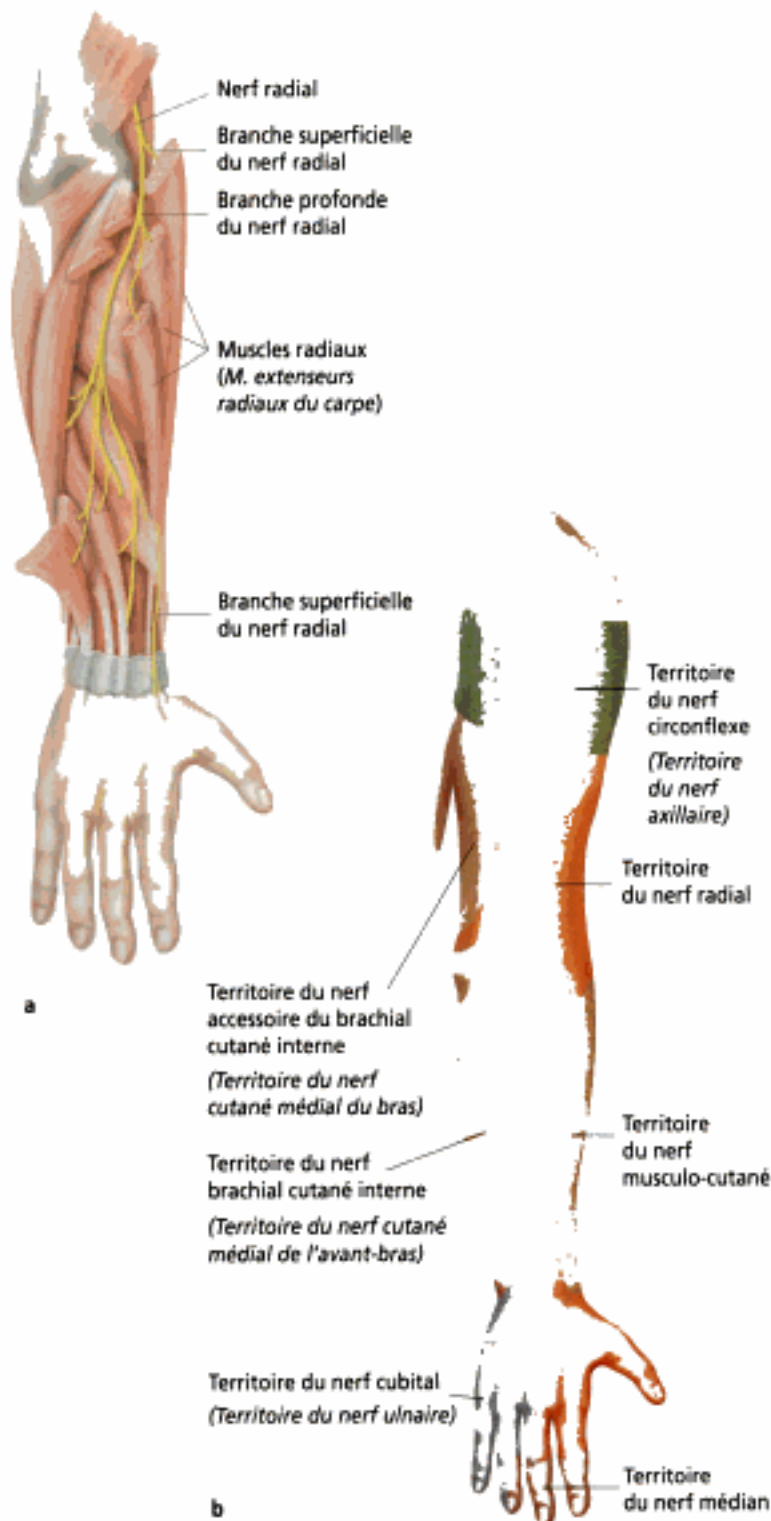


Figure 2.24. a. Le nerf radial. b. L'innervation cutanée de la face postérieure du membre supérieur.

Tous sont destinés à la mobilité du petit doigt : court fléchisseur du 5^e doigt, adducteur du 5^e et opposant du 5^e doigt.

Tendons et gaines

Les muscles du membre supérieur se terminent pour certains par des tendons courts, pour d'autres par des tendons très longs. Ces derniers sont entourés par une gaine synoviale qui permet leur protection, mais aussi facilite leur glissement. À titre d'exemple, nous étudierons les gaines annexées aux tendons fléchisseurs des doigts. Rappelons que ces tendons atteignent la main en passant par le **canal carpien**. Celui-ci est constitué par la gouttière formée par les os du carpe, recouverte en avant par un ligament épais et large appelé ligament annulaire antérieur du carpe (figure 2.20).

Arrivés dans la paume de la main, les tendons vont s'écarter l'un de l'autre pour aller gagner le doigt auquel chacun est destiné. Chaque tendon issu du fléchisseur commun superficiel forme au niveau du doigt un anneau dans lequel passe le tendon correspondant du fléchisseur commun profond.

Les gaines synoviales annexées à ces tendons sont (figure 2.20) :

- les **gaines digitales** de l'annulaire, du médius et de l'index qui enveloppent les tendons fléchisseurs communs et superficiels de ces trois doigts ;
- la **gaine digito-carpienne interne** qui s'élargit dans la paume de la main et dans le canal carpien en recouvrant alors les tendons fléchisseurs communs et superficiels des quatre derniers doigts de la main ;
- la **gaine digito-carpienne externe** qui est annexée uniquement au tendon fléchisseur du pouce.

Nerfs du membre supérieur

Le membre supérieur doit son innervation au **plexus brachial**. Celui-ci est formé par la réunion, (ou anastomose) des quatre derniers nerfs cervicaux rachidiens et du 1^{er} nerf rachidien dorsal.

Le plexus brachial est situé entre la partie inférieure et latérale du cou et la région de l'aisselle. Il donne naissance à de nombreux nerfs, collatéraux ou terminaux, assurant l'innervation sensitive et motrice du membre supérieur.

Nous étudierons surtout cette dernière dans le cadre de l'appareil locomoteur.

Branches collatérales du plexus brachial. Elles sont destinées aux muscles de l'épaule et de la région de l'aisselle. Chacun de ces muscles reçoit



une ou plusieurs branches (nerf du grand pectoral, nerf du grand rond, nerf du sus-épineux, etc.).

• **Principales branches terminales du plexus brachial** (figures 2.23 et 2.24).

– Le **nerf circonflexe** : il innerve en grande partie le muscle deltoïde, élévateur du bras, et donne également la sensibilité du moignon de l'épaule ; il peut être lésé dans la luxation de l'épaule.

– Le **nerf musculo-cutané** : il donne l'innervation motrice des muscles antérieurs du bras (biceps, etc.) qui sont des fléchisseurs du coude.

– Le **nerf radial** : il donne l'innervation motrice de la région postérieure du bras (triceps) ainsi que de la région postéro-externe de l'avant-bras (supinateurs et radiaux). Il innerve donc les muscles supinateurs et les extenseurs du coude, du poignet et des doigts. Dans son trajet il contourne la face postérieure de l'humérus accompagné d'une grosse artère ; ce paquet vasculo-nerveux peut être lésé en cas de fracture de l'humérus.

– Le **nerf médian** : il traverse la partie inférieure de l'aisselle, descend sur le côté interne du bras, passe le pli du coude et descend verticalement à la face antérieure de l'avant-bras au milieu de celui-ci (d'où le nom de nerf médian). Il s'engage enfin dans le canal carpien au poignet puis il se termine en plusieurs rameaux. Il assure l'innervation des muscles antérieurs de l'avant-bras (carré pronateur, fléchisseurs et palmaires) qui sont les pronateurs et les fléchisseurs du poignet et des doigts (surtout les trois premiers). Par ses rameaux terminaux, il innerve l'éminence thénar, permettant ainsi l'action des muscles du pouce et notamment l'opposant.

– Le **nerf cubital** : il descend à la partie interne du bras et de l'avant-bras pour se diviser en branches terminales au-dessus du poignet. Ce nerf assure l'innervation motrice des muscles qui permettent la flexion des deux derniers doigts. Il innerve également les muscles hypothénariens ainsi que les interosseux.

► Anatomie des membres inférieurs

Os

Os iliaque

C'est un os plat qui unit le membre inférieur au tronc et qui comporte trois parties (figure 2.25) :

– Un segment moyen creusé à sa face externe de la cavité cotyloïde, ou **cotyle**, articulée avec la tête du fémur.

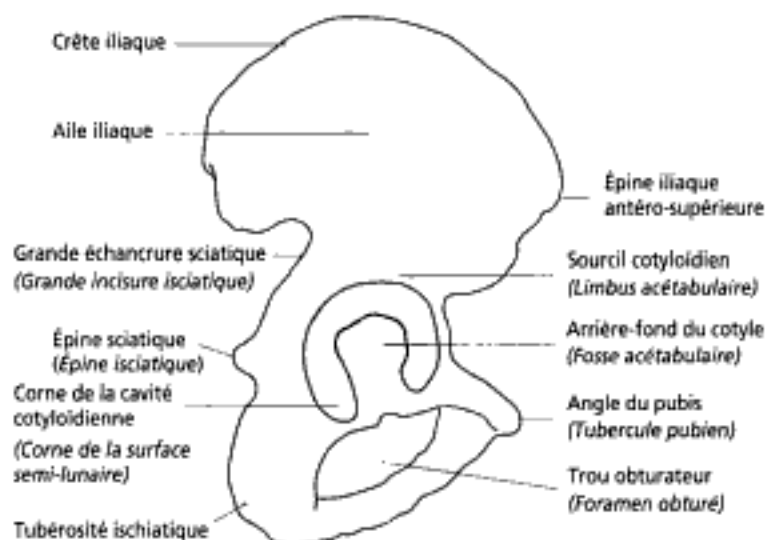


Figure 2.25. L'os iliaque droit (vue externe).

– Un segment supérieur aplati et très large, l'**aile iliaque**. Sa face externe ou fosse iliaque externe donne insertion à des muscles volumineux. Son bord supérieur saillant, qui se palpe facilement, est appelé **crête iliaque** et se prolonge en avant par une éminence osseuse, l'**épine iliaque antéro-supérieure**.

– Un segment inférieur qui forme la bordure d'un large orifice : le **trou obturateur**. Cette bordure est constituée : en avant par le **pubis**, en arrière et en bas par l'**ischion** qui présente un renflement ou **tubérosité ischiatique** (sur laquelle on s'assoit), en haut par le fond du cotyle.

Le bord postérieur de l'os présente à sa partie moyenne une saillie appelée **épine sciatique** ; au-dessus de celle-ci, l'os est creusé d'une échancrure profonde : la **grande échancrure sciatique**.

Les deux os iliaques réunis en avant par la symphyse pubienne forment, avec le sacrum qui les unit en arrière, le squelette du **bassin** ou **ceinture pelvienne** (figure 2.26).

Fémur

Il constitue à lui seul le squelette de la cuisse (figure 2.27). On lui décrit :

– Une diaphyse enveloppée par d'épaisses masses musculaires.

– Une extrémité supérieure qui comprend la **tête du fémur**, saillie sphérique revêtue de cartilage et articulée avec la cavité cotyloïde de l'os iliaque.

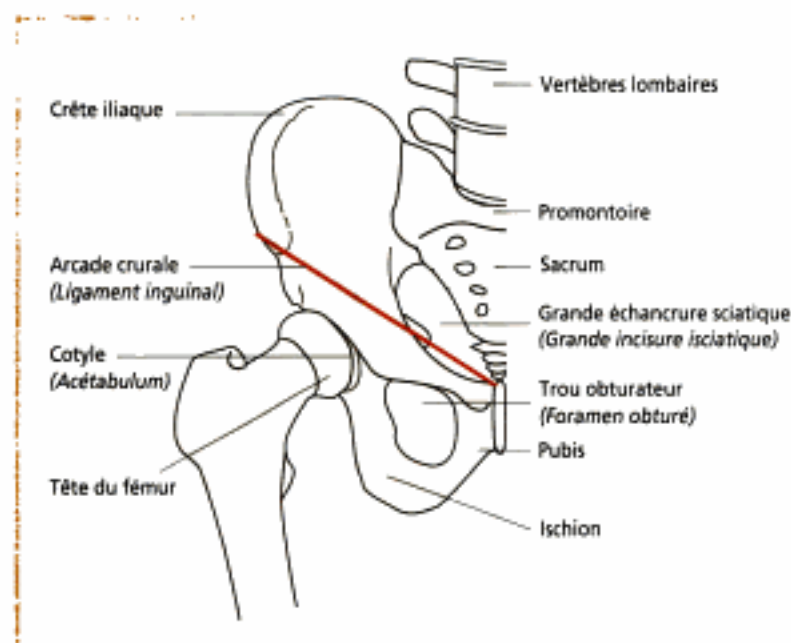


Figure 2.26. La partie droite du bassin (vue de face).

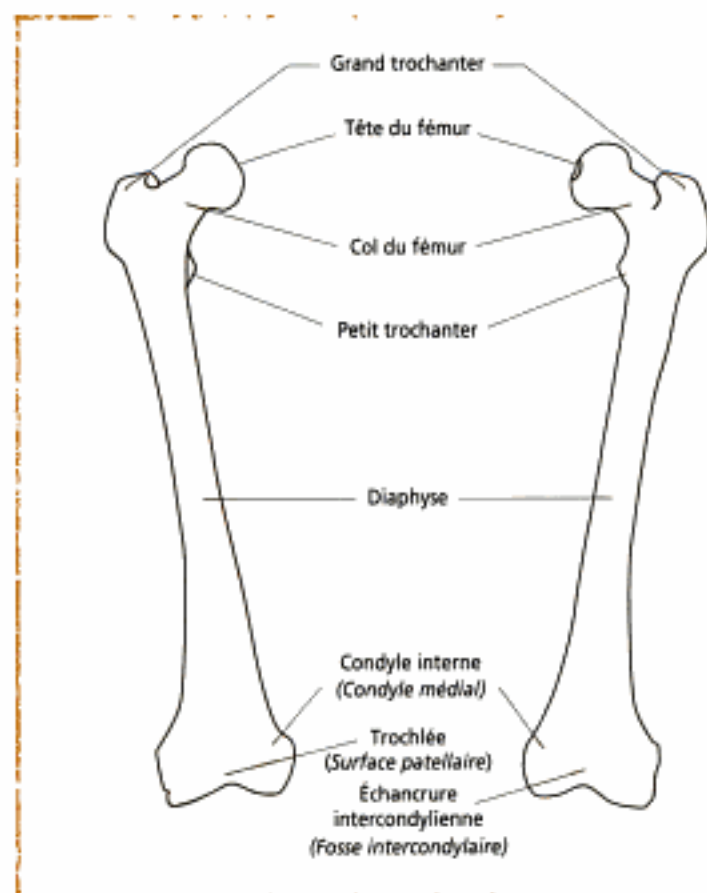


Figure 2.27. Le fémur droit (faces antérieure et postérieure).

La tête fémorale est supportée par un segment osseux rétréci appelé le **col du fémur**. Celui-ci fait avec la diaphyse un angle d'inclinaison de 130° ouvert en bas et en dedans; lorsque cet angle est supérieur à 135° , on parle de *coxa valga*, et de *coxa vara* s'il est inférieur à 125° . À l'union du col et de la tête, se trouvent deux saillies : le **grand trochanter** en haut et en dehors; le **petit trochanter** en dedans et un peu en arrière. Le grand trochanter est facile à palper sous la peau, c'est un repère anatomique important.

– Une extrémité inférieure volumineuse qui comprend : les deux **condyles fémoraux**, interne et externe (saillies revêtues de cartilage, séparées l'une de l'autre par l'échancrure intercondylienne) qui sont articulés avec les plateaux tibiaux par l'intermédiaire de ménisques.

En avant se trouve une autre surface articulaire, la **trochlée**, qui s'articule avec la rotule.

Rotule

La rotule est un os plat situé à la partie antérieure du genou. Elle est de forme triangulaire à base supérieure et pointe inférieure, aplatie d'avant en arrière. La rotule s'articule avec la trochlée fémorale par sa face postérieure qui est la seule à être revêtue de cartilage.

Tibia

Il constitue, avec le péroné, le squelette de la jambe (figure 2.28). On lui décrit :

– Une diaphyse, de forme prismatique, comprenant donc une face postérieure, répondant au groupe musculaire de la loge postérieure de la jambe; une face externe, répondant aux muscles de la loge antéro-externe de la jambe, enfin une face interne affleurant la peau. La crête tibiale sépare les faces interne et externe.

– Une extrémité supérieure, volumineuse, constituée par deux tubérosités, l'une externe, l'autre interne, supportant à leur face supérieure les cavités glénoides du tibia ou **plateaux tibiaux**. Les deux cavités sont recouvertes de cartilage et s'articulent avec les condyles fémoraux (par l'intermédiaire d'un ménisque); elles sont séparées l'une de l'autre par un espace dit interglénodien, comprenant à sa partie moyenne une saillie double, les épines tibiales.

La face latérale de la tubérosité externe comporte une surface articulaire plane et arrondie destinée à s'articuler avec l'extrémité supérieure du péroné.

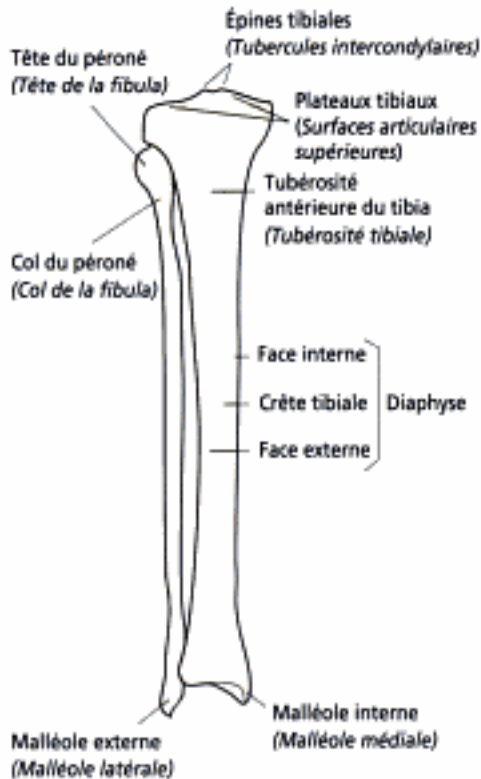


Figure 2.28. Le tibia et le péroné droits (vue de face).

Squelette du pied

Le pied est composé de trois groupes osseux qui sont le tarse, le métatarse et les phalanges (figure 2.29).

● **Le tarse.** C'est un massif osseux occupant la moitié postérieure du pied (figure 2.29). Il est formé de 7 os assemblés pour former une voûte concave en bas sur laquelle repose tout le poids du corps :

– L'**astragale** est le seul os du pied en contact avec les os de la jambe. Cet os est presque entièrement revêtu de cartilage. Il s'articule en effet : en haut avec le tibia (face inférieure) — cette surface articulaire de l'astragale porte le nom de poulie astragaliennne; en dedans avec le tibia également (malléole interne); en dehors avec l'extrémité inférieure du péroné; en bas avec le calcaneum; en avant avec le scaphoïde tarsien. Cette partie de l'astragale porte le nom de tête de l'astragale.

La face antérieure de cette extrémité du tibia comporte à sa partie médiane une volumineuse saillie appelée tubérosité antérieure du tibia.

– Une extrémité inférieure, beaucoup moins volumineuse que l'extrémité supérieure. Elle a une forme grossièrement cubique; son segment externe s'articule avec le péroné, son segment interne présente une volumineuse saillie, palpable, appelée **malléole interne**. Par son extrémité inférieure, le tibia s'articule en bas avec l'astragale.

Péroné

C'est un os long et grêle situé à la partie externe de la jambe

Le corps du péroné est prismatique; l'extrémité supérieure est un renflement portant le nom de tête du péroné. Le col du péroné est la partie rétrécie sous-jacente. La tête du péroné s'articule avec l'extrémité correspondante du tibia.

L'extrémité inférieure du péroné, palpable, est appelée **malléole externe**. Elle constitue, avec la malléole interne du tibia, la pince malléolaire qui s'articule avec l'astragale.

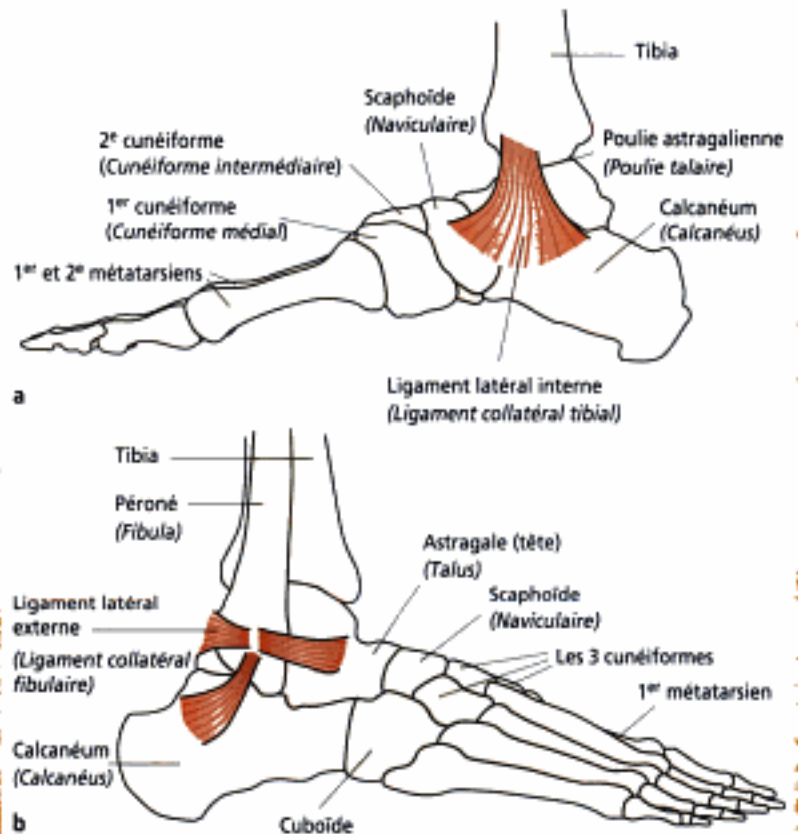


Figure 2.29. Le squelette du pied droit et l'articulation de la cheville.
a. Face interne. b. Face externe.



– Le **calcaneum** est le plus volumineux des os du tarse, situé immédiatement au-dessous de l'astragale. On lui décrit : une face supérieure qui s'articule avec l'astragale ; une face inférieure qui forme le squelette de la partie postérieure de la plante du pied, c'est-à-dire le **talon** ; une face externe pourvue d'une saillie appelée tubercule des péroniers latéraux (en raison des tendons des muscles qui passent au-dessus et au-dessous) ; une face interne comportant une volumineuse saillie : la petite apophyse du calcaneum ; une face postérieure où s'insère le tendon d'Achille ; une face antérieure qui est une surface articulaire avec le cuboïde.

Astragale et calcaneum forment le **tarse postérieur**.

Le **tarse antérieur** est composé de cinq os : le **scaphoïde** qui s'articule avec la tête de l'astragale en arrière et avec les **trois os cunéiformes** en avant. Enfin, le **cuboïde** s'articule en arrière avec le calcaneum, en dedans avec, d'une part le scaphoïde, d'autre part le troisième cunéiforme.

• **Le métatarse et les phalanges.** Les **métatarsiens** (numérotés de 1 à 5 de dedans en dehors) sont des os longs constitués d'une diaphyse ou corps, d'une extrémité antérieure ou tête, d'une extrémité postérieure ou base.

La base des cinq métatarsiens est articulée avec les os du tarse antérieur ; la tête des métatarsiens est articulée avec les **phalanges des orteils** qui ne sont différentes de celles des mains que par leur dimension plus réduite.

Articulation coxo-fémorale ou hanche (figure 2.30)

La hanche représente l'articulation la plus puissante de l'organisme. Elle unit la ceinture pelvienne (os iliaque) au membre inférieur (fémur), et permet des mouvements de flexion-extension, rotation externe et interne, adduction et abduction qui se combinent.

• **Les surfaces articulaires** sont :

– la **tête du fémur** revêtue de cartilage, sauf au niveau de la fossette du ligament rond,

– la **cavité cotyloïde** de l'os iliaque, ou **cotyle**. Seule sa partie périphérique est articulaire ; la partie centrale, dépourvue de cartilage, s'appelle l'arrière-fond. Un fibrocartilage appelé **bourrelet cotyloïdien** complète la cavité cotyloïde en accroissant sa profondeur.

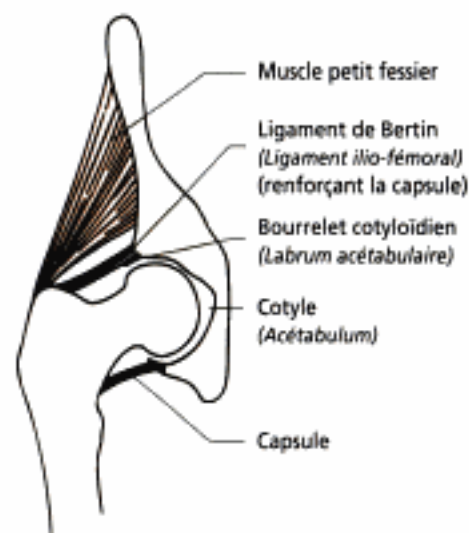


Figure 2.30. Coupe transversale de l'articulation coxo-fémorale.

• **Les moyens d'union** des deux surfaces articulaires sont une **capsule**, renforcée et épaissie à certains endroits par des **ligaments** : antérieur (ou ligament de Bertin), le plus puissant (capable de supporter une traction de 350 kg), inférieur ou pubo-fémoral, postérieur ou ischio-fémoral. Le **ligament rond** complète cette union ; il s'étend de la fossette du ligament rond sur la tête fémorale, à l'arrière-fond et aux extrémités (cornes) de la cavité cotyloïdienne.

Articulation du genou

L'articulation du genou réunit le fémur au tibia et à la rotule. Elle permet des mouvements de flexion-extension, et de faibles mouvements de rotation.

• **Surfaces articulaires**

– l'extrémité inférieure du fémur avec : en avant la **trochlée** s'articulant avec la rotule, en bas et en arrière les **condyles** interne et externe s'articulant avec les plateaux tibiaux correspondants ;

– l'extrémité supérieure du tibia qui oppose aux surfaces condyliennes du fémur des cavités glénoïdes (ou **plateaux tibiaux**).

Ceux-ci ne s'adaptent pas parfaitement aux condyles fémoraux. La concordance n'est obtenue que par l'interposition de fibrocartilages ou **ménisques** ; l'interne en forme de C très ouvert, l'externe en forme de C très fermé (figure 2.31).



La **rotule** entre en contact avec la trochlée fémorale par une surface articulaire occupant la plus grande partie de sa face postérieure.

● **Les moyens d'union** comprennent : une capsule articulaire, s'insérant au voisinage du cartilage, renforcée par des ligaments (figure 2.32), et le tendon rotulien.

Les ligaments antérieurs comprennent : les **aile-rons** de la rotule, interne et externe, s'étendant horizontalement des bords latéraux de la rotule aux condyles fémoraux. Le **tendon rotulien** est une lame tendineuse large et épaisse qui s'insère en haut sur le sommet de la rotule, et en bas sur la tubérosité antérieure du tibia.

Ligaments latéraux : le ligament latéral interne est très résistant. Il s'insère sur la face latérale du condyle interne, se dirige vers le bas en s'élargissant et se termine sur la face interne du tibia. Le ligament latéral externe est plus fin ; il s'insère en haut sur la face latérale du condyle externe, se dirige vers le bas et se termine sur l'extrémité supérieure du péroné.

Ligaments croisés antérieur et postérieur : ce sont deux cordons fibreux et courts situés dans l'articulation, appelés ainsi car ils se croisent dans leur trajet dans le sens antéro-postérieur, mais aussi dans le sens transversal. Ils s'étendent de l'espace interglénoïdien du tibia à l'espace intercondyli-

du fémur et renforcent et épaississent la capsule articulaire (figure 2.31).

Le genou comporte donc une **articulation fémoro-tibiale**, avec deux compartiments, interne et externe, et une **articulation fémoro-rotulienne** (ou fémoro-patellaire). La face postérieure de la région du genou est appelée **creux poplité**.

Articulations péronéo-tibiales

Le péroné et le tibia sont unis par l'articulation péronéo-tibiale supérieure, par l'articulation péronéo-tibiale inférieure et par le ligament inter-osseux de la jambe.

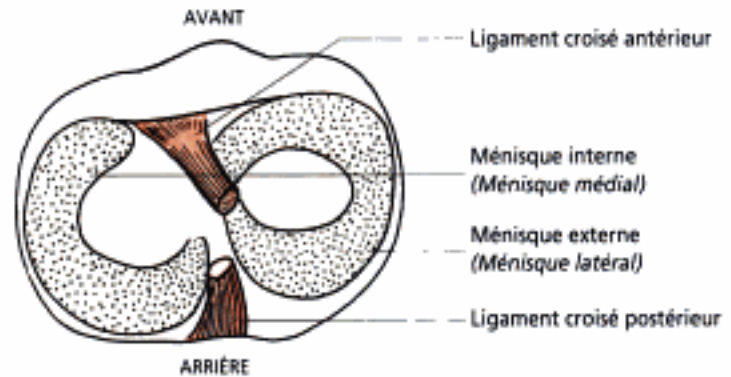


Figure 2.31. Vue supérieure des plateaux tibiaux et des ménisques du genou.

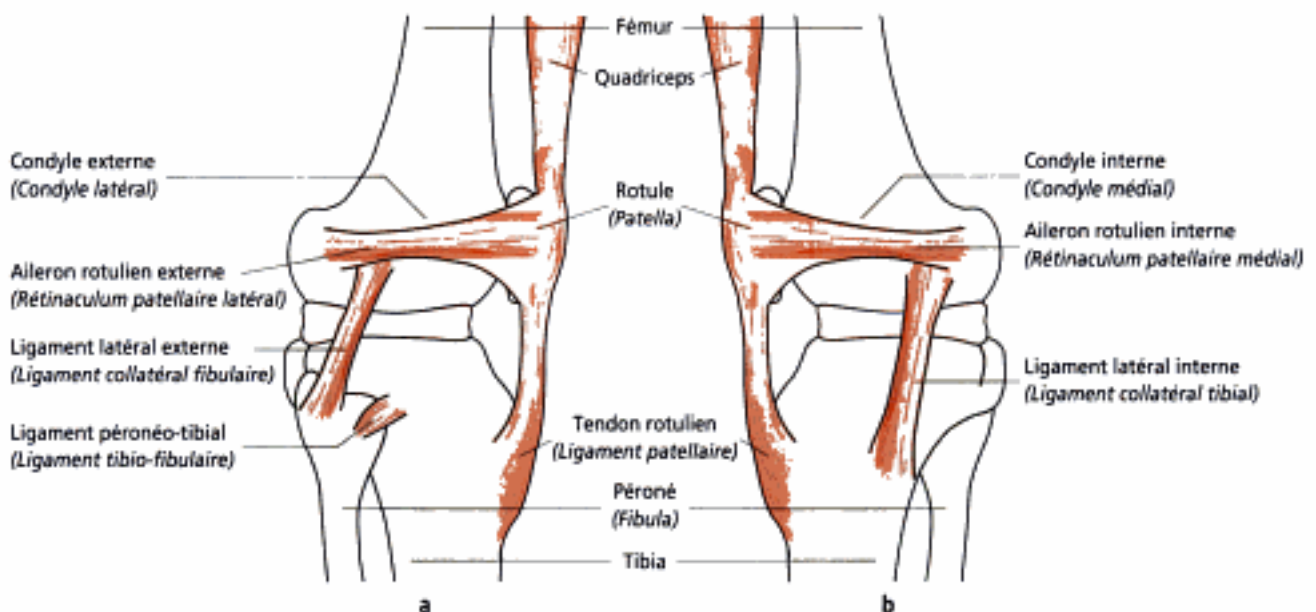


Figure 2.32. Les ligaments du genou. a. Face externe. b. Face interne.

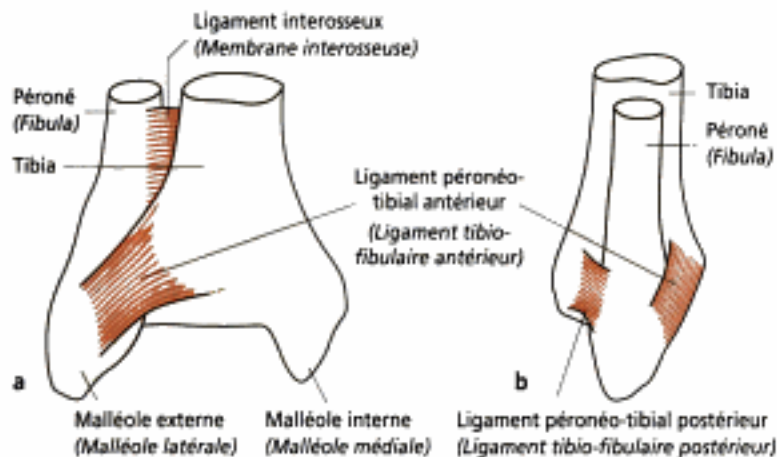


Figure 2.33. L'articulation péronéo-tibiale inférieure.

a. Face antérieure. b. Face externe.

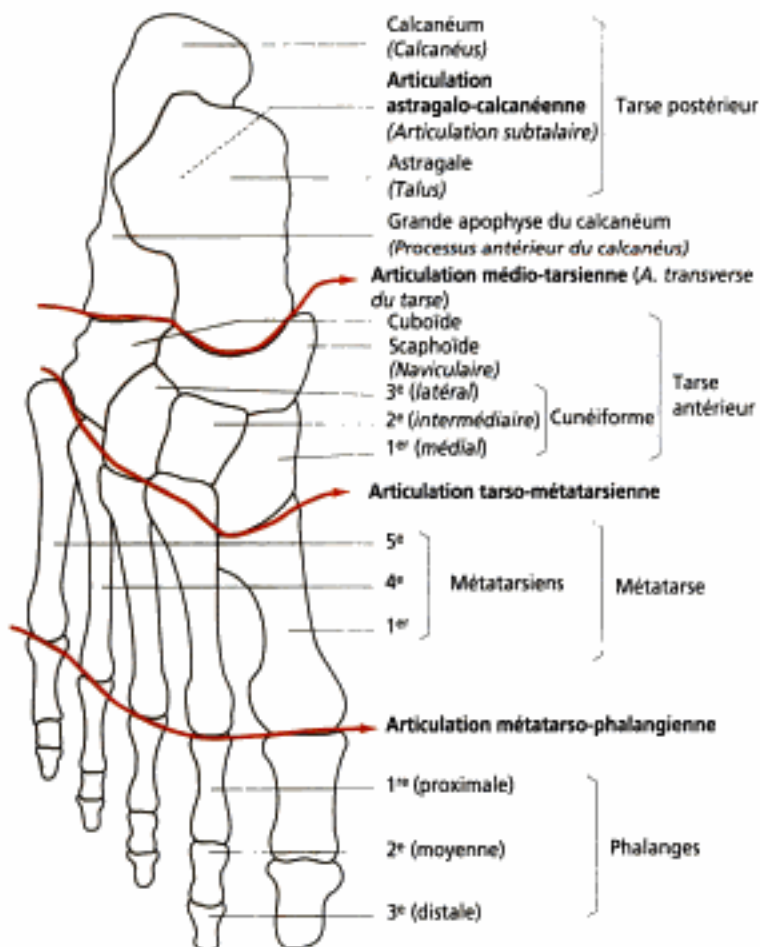


Figure 2.34. Les différentes articulations du pied (vue supérieure).

– L'articulation péronéo-tibiale supérieure unit la tête du péroné à l'extrémité supéro-externe du tibia.

– L'articulation péronéo-tibiale inférieure unit la malléole externe du péroné au tibia (figure 2.33).

– Le ligament interosseux de la jambe est une membrane s'étendant du bord externe du tibia au bord interne du péroné.

Articulation tibio-tarsienne ou cheville

L'articulation de la cheville, ou cou-de-pied, qui unit les deux os de la jambe à l'astragale, assure les mouvements de flexion et d'extension du pied.

• Surfaces articulaires

– La surface péronéo-tibiale comprend trois parties : supérieure ou tibiale ; interne, appartenant à la malléole tibiale ; externe, appartenant à la malléole péronière. L'ensemble est complété en avant et en arrière par les ligaments péronéo-tibiaux.

– La surface astragaliennne. Elle s'emboîte parfaitement dans celle formée par les deux os de la jambe. Elle comprend en effet une facette supérieure ou poulie astragaliennne, et deux facettes latérales externe et interne qui correspondent aux malléoles.

• Les moyens d'union sont une capsule articulaire et surtout deux ligaments extrêmement puissants (figure 2.29) :

– le ligament latéral externe qui s'insère sur la malléole péronière et se dirige en faisceaux distincts vers le calcaneum et vers l'astragale ;

– le ligament latéral interne qui s'insère sur la malléole tibiale, s'élargit en éventail pour se terminer sur le scaphoïde, l'astragale et le calcaneum.

Articulations du pied

Elles comprennent (figure 2.34) :

– L'articulation entre les deux os de la première rangée du tarse : articulation astragalo-calcaneenne ou articulation sous-astragaliennne.

– Les articulations entre les os de la deuxième rangée du tarse (scaphoïde, cuboïde, cunéiformes). Elles sont le siège de mouvements limités, car les os sont réunis en un seul bloc par de nombreux ligaments très puissants.

– Les articulations entre les deux rangées du tarse ou articulation médio-tarsienne de Chopart. Elle met en présence d'une part, la surface articulaire de la tête de l'astragale, qui s'articule avec le scaphoïde, et d'autre part, la face antérieure du calcaneum qui s'adapte à la face postérieure du cuboïde.



L'articulation de Chopart ainsi que l'articulation astragalo-calcaneenne permettent des mouvements de torsion du pied en dehors et en dedans.

– L'articulation tarso-metatarsienne ou **articulation de Lisfranc** : elle unit, d'une part les faces anterieures des trois cuneiformes et du cuboide formant l'arcade tarsienne, voûte osseuse à concavité inferieure, et d'autre part l'extremite posterieure des cinq metatarsiens qui forment egalement une voûte osseuse concave en bas appelee arcade metatarsienne.

De faibles mouvements de flexion et d'extension sont possibles dans cette articulation.

– Les articulations metatarso-phalangiennes (MTP) et interphalangiennes (IPP et IPD) des orteils sont analogues aux metacarpo-phalangiennes et interphalangiennes des doigts.

Muscles du membre inferieur

Muscles moteurs de la cuisse

- La flexion de la cuisse sur le bassin est assuree surtout par le muscle **psaos iliaque** ; c'est un muscle epais et allonge, s'insérant sur la colonne lombaire (psaos) et sur l'os iliaque (iliaque). De ces insertions, le corps de ces muscles se dirige vers le bas, pour aller s'insérer par un tendon commun sur l'extremite superieure du fémur (petit trochanter). Le droit anterieur contribue egalement à la flexion de la cuisse.
- L'extension de la cuisse sur le bassin, qui la porte en arriere du plan vertical, d'amplitude beaucoup plus limitee, est assuree principalement par le **grand fessier** ; c'est le muscle le plus volumineux et le plus puissant de l'organisme. Il est tres superficiel et forme le relief de la fesse ; c'est là que se font les injections intramusculaires. Il s'insère sur la fosse iliaque externe et la face posterieure du sacrum ; de là il se dirige en bas vers le fémur où il s'insère à la face posterieure de la diaphyse.
- Les muscles **abducteurs de la cuisse** permettent de porter la cuisse en dehors, c'est-à-dire de l'écarter de l'axe median du corps. Les muscles qui y contribuent sont le **moyen fessier**, plus profond que le grand fessier, et le **petit fessier**, plus profond que le moyen fessier.
- Les **adducteurs de la cuisse** permettent de rapprocher la cuisse de la ligne mediane. Ce mouvement est limite par la rencontre des cuisses si le sujet est debout en position normale. Les princi-

aux muscles qui contribuent à ce mouvement sont trois muscles superposes, **grand, moyen et petit adducteurs**. Leur forme est triangulaire, leur sommet se trouvant sur l'os iliaque, leur base sur le fémur ; ils sont places à la face interne de la cuisse.

- Les muscles **rotateurs externes de la cuisse** permettent la rotation en dehors du membre inferieur. De nombreux muscles y contribuent : les faisceaux posterieurs du moyen fessier, le grand fessier, les muscles adducteurs, le pyramidal du bassin, l'obturateur interne, et l'obturateur externe.
- Les muscles **rotateurs internes de la cuisse** permettent la rotation en dedans du membre inferieur. Les principaux sont le petit et le moyen fessier, par leurs faisceaux anterieurs.

À RETENIR

On peut dire que le **psaos** et les **fessiers** sont les principaux muscles moteurs de la cuisse. Ils permettent la flexion (psaos), l'extension, la rotation externe et interne, l'abduction (muscles fessiers) ; l'adduction est sous la dependance des trois adducteurs de la cuisse.

Muscles moteurs de la jambe

- Les muscles **fléchisseurs de la jambe** sur la cuisse sont le **demi-membraneux**, le **demi-tendineux** et le **biceps**. Ces trois muscles s'insèrent sur l'os iliaque au niveau de la tuberosite ischiatique (une partie du biceps s'insère aussi sur le fémur) et se terminent à l'extremite superieure du tibia sur sa face posterieure et sur la tete du perone.
- Les muscles **extenseurs de la jambe**
 - C'est avant tout le **quadriceps**, muscle volumineux formant le relief de la face anterieure de la cuisse. Il est constitue par quatre muscles : vaste interne, vaste externe et crural, s'insérant sur la diaphyse femorale, et droit anterieur s'insérant sur l'os iliaque. Ces quatre muscles se terminent par un tendon commun appele **tendon du quadriceps** qui s'insère sur la rotule, et la tuberosite anterieure du tibia par l'intermediaire du **tendon rotulien** (figure 2.32).
 - **En résumé** : les muscles fléchisseurs de la jambe (demi-tendineux, etc.) sont situes à la partie posterieure de la cuisse ; les extenseurs de la jambe (quadriceps) sont places à la partie anterieure de la cuisse.



Nerf fémoro-cutané
(N. cutané latéral de la cuisse)
(2^e et 3^e racines lombaires)

Nerf crural
(N. fémoral)
(2^e, 3^e et 4^e racines lombaires)

Nerf obturateur

Tronc lombo-sacré
(Tronc lombo-sacral)

Muscle psoas

Nerf du quadriceps

Muscle quadriceps

Tendon du muscle
droit antérieur
(Tendon du muscle
droit fémoral)

L1

Territoire du nerf fémoro-cutané
(Territoire du nerf cutané latéral
de la cuisse)

Territoire du nerf crural
(Territoire du nerf fémoral)

Territoire du nerf sciatique poplité externe
(Territoire du nerf fibulaire commun)

a

b

Figure 2.35. a. Les nerfs fémoro-cutané et crural. Nerf crural : nerf moteur du quadriceps et sensitif de la partie antérieure de la cuisse et interne de la jambe. b. L'innervation cutanée de la face antérieure du membre inférieur : territoires sensitifs.

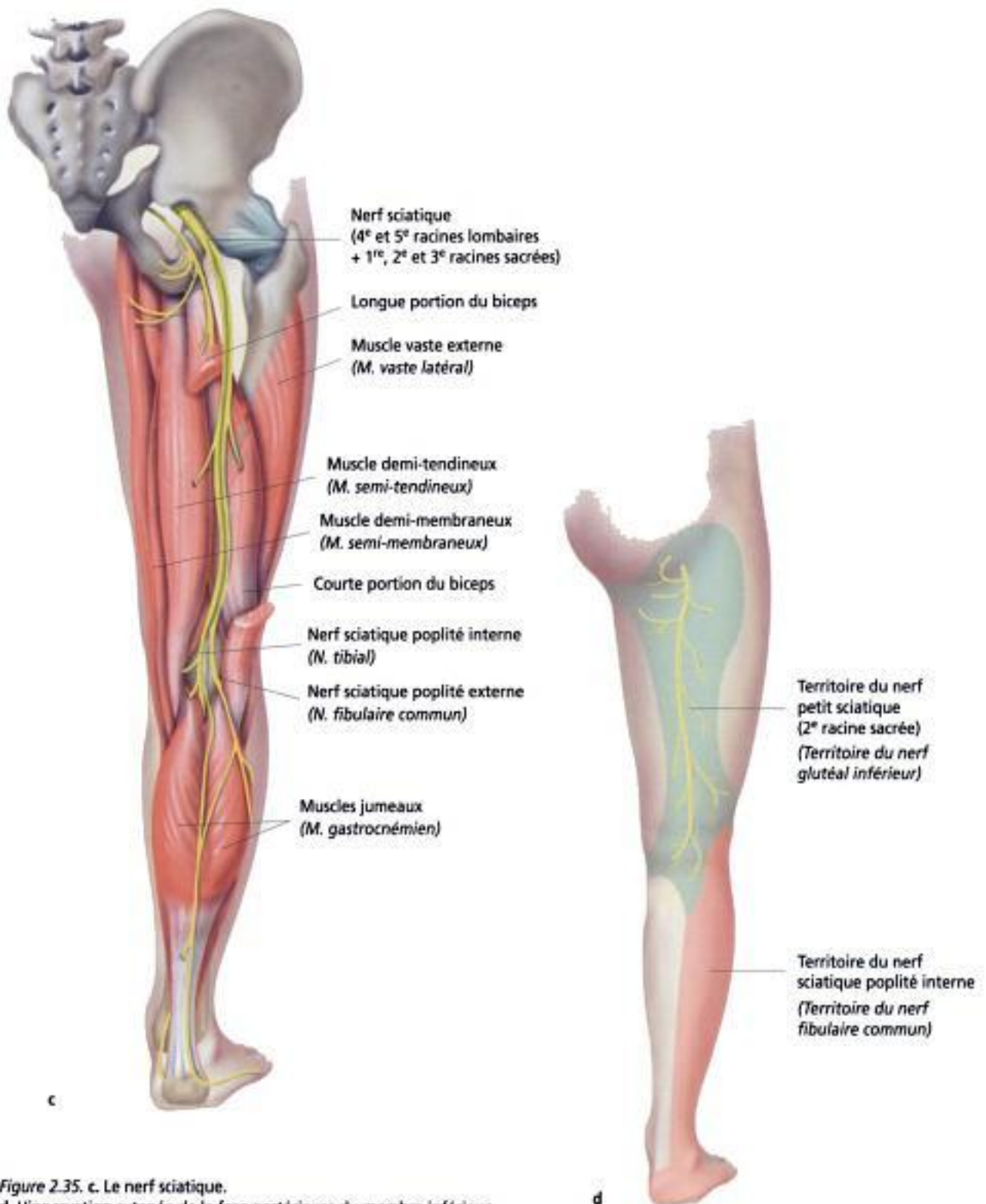


Figure 2.35. c. Le nerf sciatique.
d. L'innervation cutanée de la face postérieure du membre inférieur.

Muscles moteurs du pied

● **Releveurs du pied et des orteils** (figure 2.36). Ils rapprochent la face dorsale du pied de la face antérieure de la jambe (on parle parfois de **flexion dorsale du pied**), et ils relèvent les orteils. Ces muscles sont décrits en deux groupes :

– Le **groupe musculaire antérieur** est constitué par le **jambier antérieur**, l'**extenseur propre du gros orteil**, l'**extenseur commun des orteils**; ils se terminent tous par des tendons (quatre pour l'extenseur commun) qui passent à la face antérieure de la cheville avant de s'insérer sur le pied. Le tendon du jambier antérieur est très facilement palpable à la partie interne du cou-de-pied.

– Le **groupe musculaire externe** est constitué par les muscles **péroniers latéraux** (court péronier et long péronier). Ils se terminent en bas par un tendon qui passe en arrière de la malléole externe avant de s'insérer sur le pied.

● **Fléchisseurs du pied et des orteils** (figure 2.37). Ces muscles, qui assurent la **flexion plantaire** du

pied (on parle aussi d'**extension du pied**) et la **flexion des orteils**, sont situés à la face postérieure de la jambe, en deux plans :

– Le **plan le plus profond** comprend : le **long fléchisseur commun des orteils**, le **jambier postérieur** et le **fléchisseur propre du gros orteil**. Ces muscles donnent naissance à des tendons distincts qui passent en arrière de l'articulation tibio-tarsienne pour aboutir à la face plantaire du pied sur les orteils (le tendon du fléchisseur commun se divise au pied en quatre tendons distincts destinés aux quatre derniers orteils).

– Le **plan le plus superficiel** est formé par le **triceps sural**, donnant le relief de la face postérieure de la jambe (**mollet**). Il se compose de trois muscles : le **soléaire** et les deux **jumeaux** qui s'insèrent en haut sur les deux os de la jambe (soléaire) et sur les condyles fémoraux (jumeaux). Leur terminaison est commune sous forme d'un épais tendon prenant attache sur le **calcaneum** : le **tendon d'Achille** (figure 2.37).

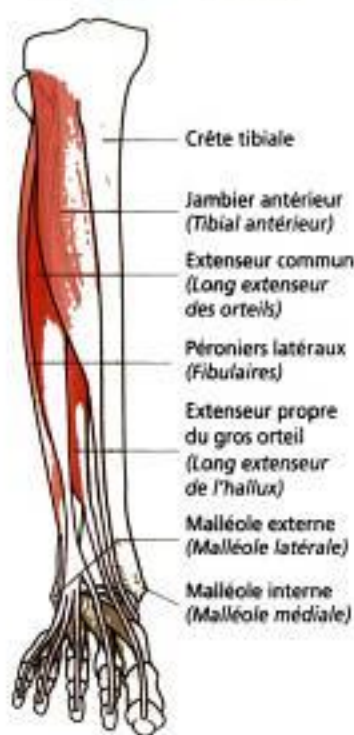


Figure 2.36. Muscles releveurs du pied et des orteils (face antérieure de la jambe).

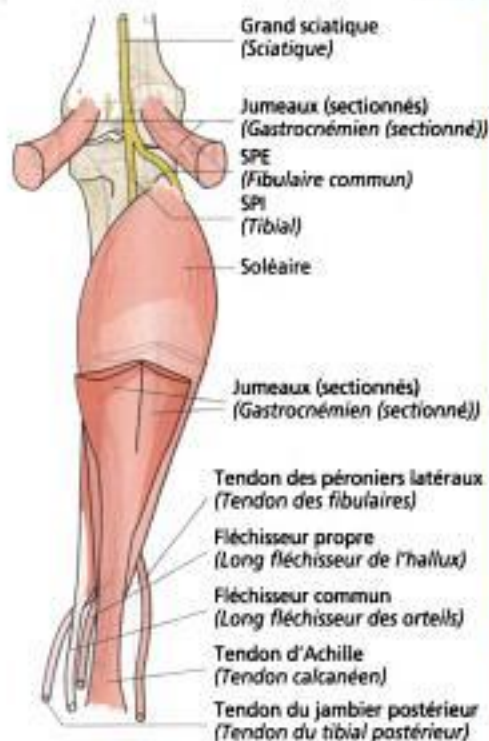


Figure 2.37. Muscles fléchisseurs du pied et des orteils (face postérieure de la jambe).



À RETENIR

Les muscles de la face postérieure de la jambe sont les fléchisseurs des orteils et du pied, alors que les muscles de la face antérieure et externe sont des releveurs des orteils et du pied. Les fléchisseurs du pied et des orteils permettent la marche.

Tendons et gaines du pied

Les tendons des muscles de la jambe vont atteindre le pied en passant soit en avant de la ligne unissant les deux malléoles (région antérieure du cou-de-pied), soit en arrière de cette même ligne (région postérieure du cou-de-pied).

- **Les tendons des releveurs** du pied et des extenseurs des orteils (sauf ceux des péroniers latéraux) passent en avant des malléoles. Ces tendons sont, de dedans en dehors, celui du jambier antérieur, de l'extenseur propre et de l'extenseur commun. Tous passent sous un ligament tendu d'un bord à l'autre de la face antérieure du cou-de-pied : le ligament annulaire antérieur du tarse.

- **Les tendons qui traversent la région postérieure** du cou-de-pied sont : au milieu, le volumineux **tendon d'Achille**; en dehors de celui-ci les tendons des péroniers latéraux (placés juste derrière la malléole externe); en dedans du tendon d'Achille, les tendons des fléchisseurs des orteils et du jambier postérieur placés juste derrière la malléole interne.

Tous ces tendons sont entourés de gaines synoviales.

Nerfs du membre inférieur

Le membre inférieur est innervé par les branches du plexus lombaire et du plexus sacré.

Plexus lombaire

Ses branches collatérales et terminales (voir aussi page 48) donnent :

- la sensibilité de la région antérieure externe et interne de la cuisse et celle de la région antéro-interne de la jambe;
- l'innervation motrice des muscles de la paroi abdominale et de certains muscles de la cuisse (adducteurs et quadriceps par le nerf crural);
- le **nerf crural** est le nerf le plus important issu du plexus lombaire (2^e, 3^e et 4^e racines lombaires). De son origine au voisinage des vertèbres lombaires, il se dirige vers le membre inférieur appliqué sur le poas. Il traverse l'arcade crurale

(figure 2.35a) en compagnie de ce muscle, de l'artère et de la veine fémorales; c'est alors qu'il se divise en plusieurs branches destinées au muscle quadriceps.

Plexus sacré

Les branches collatérales innervent tous les muscles de la fesse et donnent la sensibilité de la peau de la fesse et de la région postérieure de la cuisse (nerf petit sciatique).

La branche terminale du plexus sacré est le **nerf grand sciatique** (il comporte des fibres qui proviennent des 4^e et 5^e racines lombaires, et des branches antérieures des trois premières racines sacrées). Ce nerf, après sa naissance du plexus sacré, se dirige en dehors pour sortir du petit bassin par la grande échancrure sciatique. Il est alors très volumineux (1 cm de large). Il descend ensuite dans la fesse puis dans la région postérieure de la cuisse, assurant l'innervation motrice des muscles de la région (demi-tendineux, etc.), il parvient alors à la face postérieure du genou (creux poplité) où il se divise en deux branches (figure 2.35b) :

- Le **sciatique poplité externe**, comme son nom l'indique, est placé à la face externe de la jambe. Il assure l'innervation motrice des muscles de la région antéro-externe de la jambe qui sont les releveurs du pied et les extenseurs des orteils. Il donne également la sensibilité des téguments de cette région et du dos du pied (figure 2.35a).
- Le **sciatique poplité interne** descend verticalement à la face postérieure de la jambe (prenant le nom de nerf tibial postérieur). Il donne des rameaux moteurs pour tous les muscles de cette région (triceps sural, fléchisseurs des orteils) et des rameaux sensitifs qui apportent la sensibilité de la peau du talon et de la plante du pied (figure 2.35b).

À RETENIR

L'innervation motrice des muscles antérieurs de la cuisse (quadriceps surtout) est assurée par les branches du plexus lombaire (nerf crural).

Tous les autres muscles du membre inférieur sont innervés par le plexus sacré : ceux de la région postérieure de la cuisse par le grand sciatique; ceux de la région antéro-externe de la jambe par le sciatique poplité externe, ceux de la région postérieure de la jambe par le sciatique poplité interne.



► Anatomie du crâne

Crâne

Le squelette de la tête comporte le crâne et le massif facial.

Le crâne est une boîte osseuse de forme ovoïde à grosse extrémité postérieure dont la partie inférieure est plane ; il contient l'encéphale.

Il est constitué par 8 os qui sont soudés entre eux : le frontal, l'ethmoïde, le sphénoïde et l'occipital (impairs et médians) ; les 2 temporaux, les 2 pariétaux (pairs et latéraux).

On lui distingue 2 parties : l'une supérieure, la voûte ; l'autre inférieure, la base.

La voûte est formée par la partie verticale de l'os frontal en avant, les os pariétaux et l'écaïlle des os temporaux sur les côtés, la partie supérieure de l'os occipital en arrière. Tous les os de la voûte sont constitués de 2 lames d'os compact, les tables externe et interne, séparées par une couche d'os spongieux, le diploé. La face endocrânienne des os de la voûte est marquée par des sillons et gouttières vasculaires.

La base comprend toutes les autres parties du squelette de la boîte crânienne, c'est à dire l'ethmoïde et la partie horizontale du frontal en avant ; le sphénoïde à la partie moyenne ; l'occipital et les os temporaux en arrière.

Massif facial

Il est placé au-dessous de la moitié antérieure du crâne. Il se divise en 2 parties principales : la mâchoire supérieure et la mâchoire inférieure.

La mâchoire supérieure est formée par 13 os, dont un seul, le vomer, est impair et médian. Les autres sont pairs et symétriques. Ce sont : les maxillaires supérieurs, les unguis, les palatins, les cornets inférieurs, les os propres du nez et les os malaïres.

La mâchoire inférieure est formée par un seul os, le maxillaire inférieur.

Nous ne ferons que citer quelques **particularités anatomiques** de certains des os de la tête.

Le frontal participe à la constitution des cavités orbitaires et des sinus frontaux.

L'ethmoïde a une forme très complexe ; il participe, entre autre, à la constitution des sinus frontaux.

Le sphénoïde comporte un corps, dans lequel se situe la selle turcique qui contient l'hypophyse ; il

est prolongé latéralement par les ailes : petites et grandes ailes du sphénoïde.

L'os temporal comporte : une partie haute et plate, l'écaïlle (dont la partie inférieure participe à l'articulation temporo-maxillaire), un segment moyen, ou rocher (qui est creusé, en avant, des cavités de l'appareil auditif, et qui, en arrière, présente l'orifice du canal carotidien), et une partie postéro-inférieure, la mastoïde, qui fait saillie derrière l'oreille.

L'os occipital, est traversé à sa partie inférieure par un large orifice ovalaire, le trou occipital, qui fait communiquer la cavité crânienne avec le canal rachidien, livrant passage au bulbe, aux artères vertébrales et aux veines, etc. L'occipital est uni à l'atlas (1^{re} vertèbre cervicale) : articulation occipito-atloïdienne, et à l'axis (2^e vertèbre cervicale) par des ligaments.

Le maxillaire supérieur participe à la constitution des parois des cavités de la face : cavité buccale, cavités orbitaires, fosses nasales. Il est creusé d'une cavité, le sinus maxillaire. Il supporte les racines des dents supérieures.

Le maxillaire inférieur, situé à la partie inférieure de la face, comporte : une partie moyenne, le corps, incurvé en fer à cheval, dont le bord supérieur supporte les racines des dents inférieures ; 2 branches montantes, latérales, surmontées en arrière d'un condyle qui s'articule avec le temporal.

L'os hyoïde est un os médian, situé au dessus du larynx, à la hauteur de la 4^e vertèbre cervicale. Il est isolé du reste du squelette, auquel il n'est relié que par des ligaments et des muscles. Il a une forme convexe en avant et concave en arrière.

Les os wormiens, sont des petites pièces osseuses développées à partir de points d'ossification anormaux (ou parfois normaux), entre les divers os du crâne.

À la naissance, les angles des os de la voûte du crâne ne sont pas encore formés. Il en résulte qu'aux points de jonction les os sont séparés par des espaces où le crâne est encore membraneux : ce sont les fontanelles.

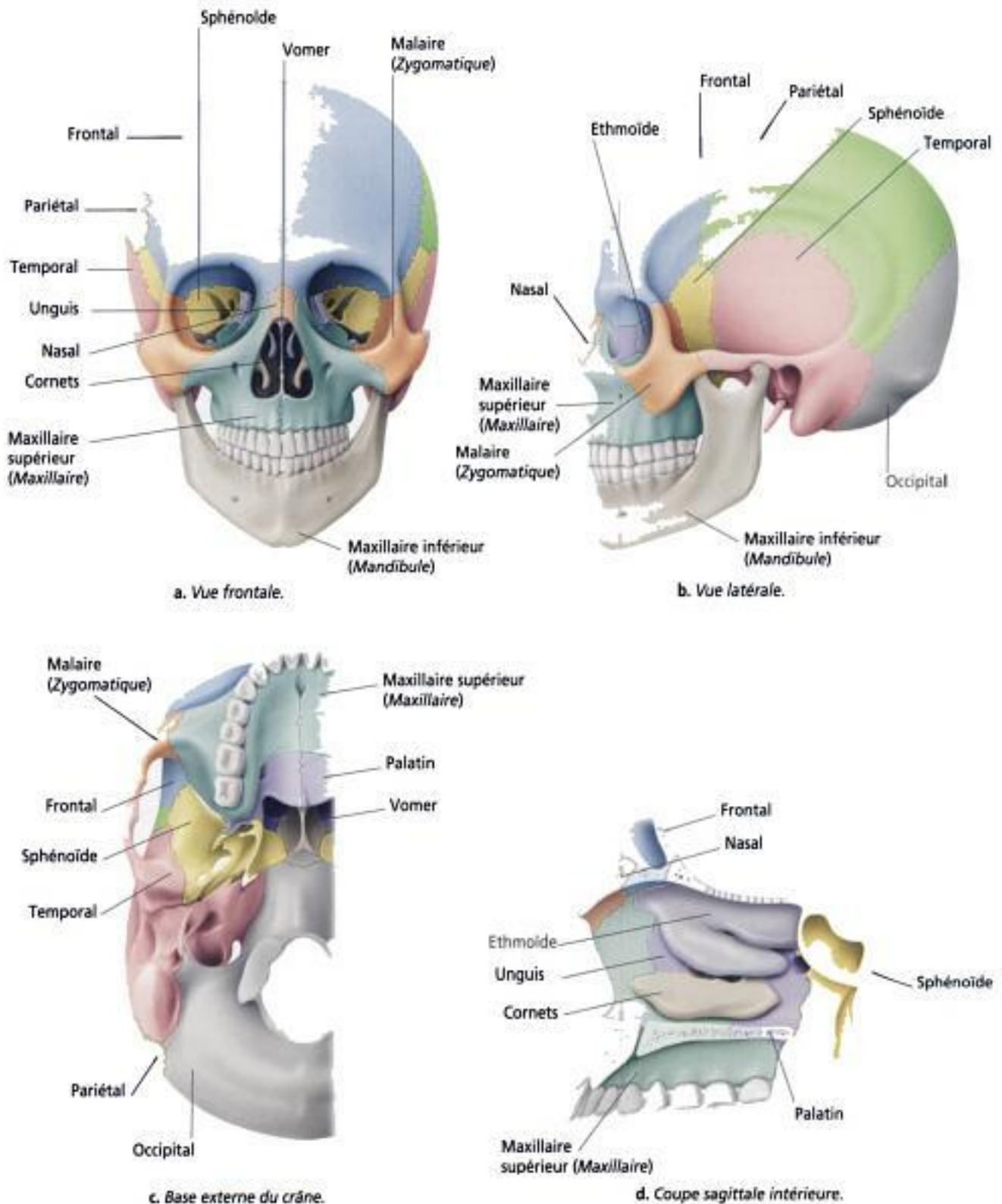


Figure 2.38. Le crâne.



► Anatomie du rachis

Le rachis est constitué par la colonne vertébrale contenant, dans le canal rachidien, la moelle épinière.

C'est une longue tige osseuse résistante mais flexible, composée d'éléments osseux superposés appelés les vertèbres, s'étendant depuis la tête qu'elle soutient jusqu'au bassin qui la supporte.

Anatomie de la vertèbre

On décrit à chaque vertèbre

- Une partie antérieure renflée : le **corps vertébral**. Il a la forme d'un cylindre à face postérieure plate. Les faces supérieures et inférieures sont les **plateaux vertébraux**, recouverts de cartilage, en contact avec le disque intervertébral.
- Une partie postérieure en forme d'arc, appelée pour cette raison l'**arc postérieur**, qui comprend de chaque côté et successivement d'avant en arrière (figure 2.39) : le **pédicule**, puis un massif articulaire pourvu de deux saillies : les **apophyses articulaires** supérieure et inférieure ; le segment osseux situé entre elles est l'**isthme** de la vertèbre. L'**apophyse transverse**, la **lame**, et l'**apophyse épineuse** médiane unissant les deux lames.

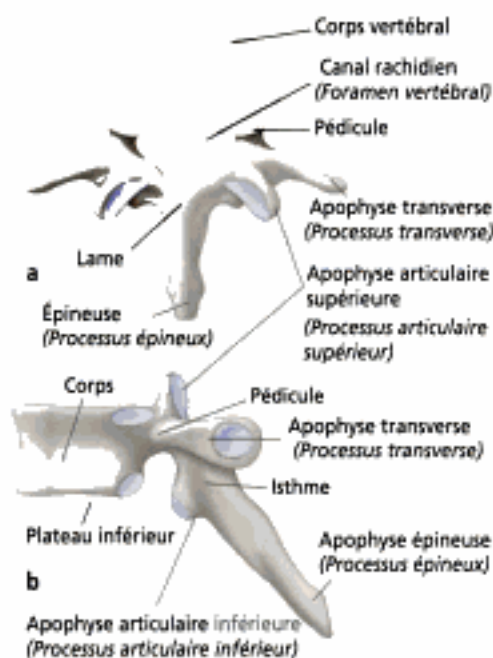


Figure 2.39. La vertèbre dorsale.
a. Vue supérieure. b. Vue latérale.

Le canal rachidien, limité en avant par le corps vertébral et en arrière par l'arc postérieur, contient la moelle épinière et ses méninges.

On distingue de haut en bas

- Les **vertèbres cervicales** (au nombre de 7). La première, appelée l'**atlas**, s'articule avec l'os occipital. La seconde est appelée **axis** ; le corps de cette vertèbre est surmonté d'une volumineuse saillie appelée **apophyse odontoïde**.
- Les **vertèbres dorsales** (ou thoraciques) (au nombre de 12) sont particulières par l'existence de chaque côté du corps de facettes articulaires destinées aux articulations avec les côtes : articulations costo-vertébrales.
- Les **vertèbres lombaires** (au nombre de 5).
- Les **vertèbres sacrées** (au nombre de 5) qui se soudent pour former le **sacrum** ; c'est un os triangulaire, concave en avant. Il présente 4 paires d'orifices appelés trous sacrés. Le sacrum s'unit en haut à la colonne lombaire en formant un angle saillant en avant appelé **promontoire**. De chaque côté, il est uni à l'os iliaque (constituant le squelette du bassin), enfin en bas il est articulé avec une petite pièce osseuse appelée **coccyx**, fusion des dernières pièces vertébrales.

Envisagée dans son ensemble

● La colonne vertébrale présente :

- une face antérieure : colonne cylindrique formée par la superposition des corps vertébraux ;
- une face postérieure qui présente sur la ligne médiane une crête facilement palpable sous la peau, répondant à la superposition des apophyses épineuses. De chaque côté de cette crête existe une gouttière occupée par les muscles spinaux (muscles paravertébraux) ;
- deux faces latérales constituées : par les corps puis les pédicules (dont les bords supérieur et inférieur sont échancrés et limitent les **trous de conjugaison** par où sortent les nerfs rachidiens) ; enfin, les apophyses transverses et les apophyses articulaires ;
- un espace central, le **canal rachidien**, limité en avant par le corps vertébral et en arrière par l'arc postérieur, qui contient la moelle épinière et ses méninges.

● **Vue de profil**, elle n'est pas parfaitement rectiligne. On lui décrit trois courbures dans le plan sagittal, c'est-à-dire antéro-postérieur (figure 2.40) :

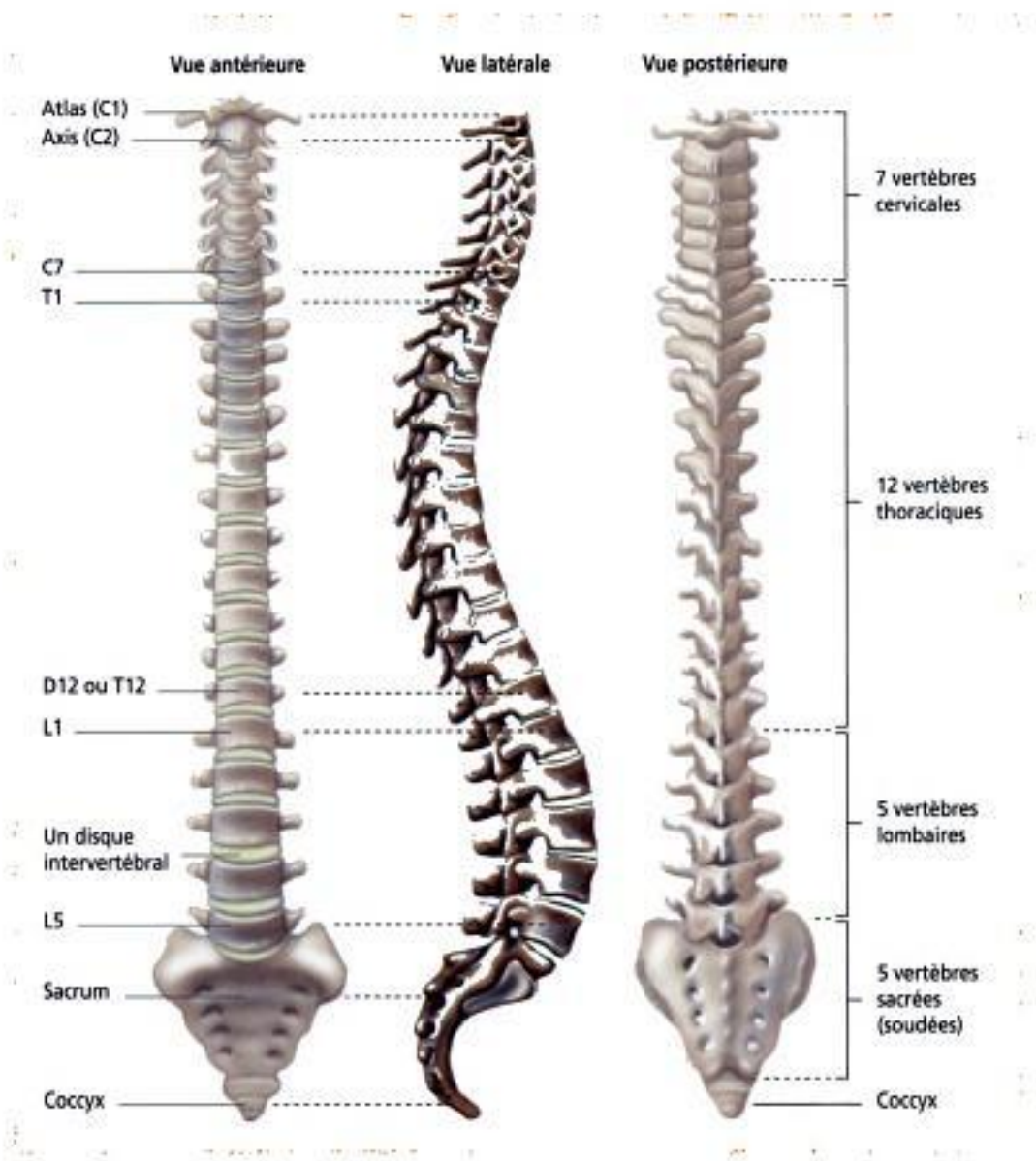


Figure 2.40. La colonne vertébrale.

- la colonne cervicale, qui dessine une courbe légèrement convexe en avant;
- la colonne dorsale, qui dessine une courbe concave en avant;
- la colonne lombaire, dont la courbure se fait dans le sens opposé, convexe en avant.

• **Vue de face, elle est parfaitement rectiligne.** Un fil à plomb partant de la saillie de l'épineuse de la 7^e vertèbre cervicale, nettement palpable, suit la ligne des épineuses et passe par le sillon interfessier.

Articulations du rachis

Nous envisagerons les articulations des vertèbres entre elles, les articulations sacro-iliaques, sans étudier toutefois les articulations avec les côtes (articulations costo-vertébrales), ni avec la tête (articulation atloïdo-occipitale ou charnière cervico-occipitale).

Articulations des corps vertébraux

Ce sont des amphiarthroses, c'est-à-dire des articulations douées d'une mobilité restreinte.



Les **surfaces articulaires** sont les faces supérieures et inférieures des corps vertébraux. Leurs moyens d'union (figure 2.41) sont :

- Les **disques intervertébraux**. Ils occupent l'espace compris entre deux corps vertébraux. Leur forme est celle d'une lentille biconvexe. Leur hauteur varie suivant les régions; elle est maximale dans le segment lombaire de la colonne. Chaque disque est constitué par un **anneau fibreux périphérique** qui s'insère fortement sur les corps vertébraux sus- et sous-jacents. La partie centrale du disque a une consistance gélatineuse : c'est le **nucleus pulposus**. Dans la hernie discale, c'est le nucleus pulposus qui fait saillie à travers l'anneau fibreux fissuré.

- Les **ligaments périphériques** viennent renforcer l'union des vertèbres. Ils forment deux bandes fibreuses blanc nacré qui s'étendent sur toute la hauteur de la colonne vertébrale, adhérant à chaque disque et à chaque corps vertébral. Un ligament est situé à la face antérieure de la colonne, le **ligament vertébral commun antérieur**; l'autre est situé à la face postérieure des corps vertébraux, le **ligament vertébral commun postérieur**.

Articulations des apophyses articulaires

Ce sont celles qui unissent l'apophyse articulaire inférieure d'une vertèbre à l'apophyse articulaire supérieure de la vertèbre située immédiatement en dessous.

Les surfaces en présence sont revêtues de cartilage et réunies par une capsule, doublée à sa face interne d'une membrane synoviale; ce sont des diarthroses.

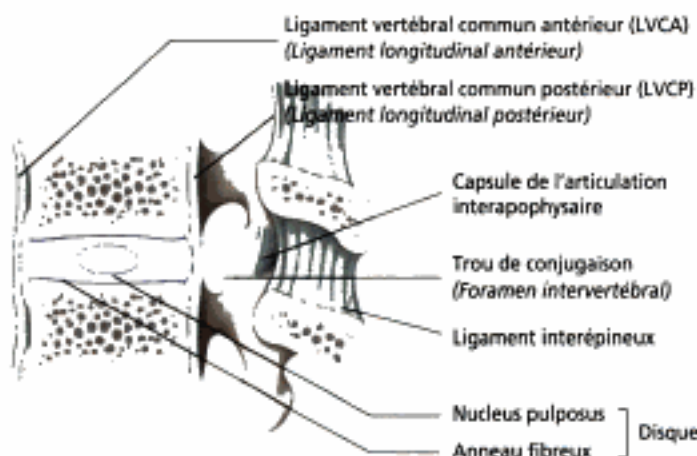


Figure 2.41. Les moyens d'union des vertèbres.

Autres moyens d'union des vertèbres entre elles

À côté des articulations proprement dites, il est d'autres moyens d'union représentés par des ligaments, réunissant les lames vertébrales de chaque côté : **ligaments jaunes** (en raison de leur couleur); réunissant les apophyses épineuses entre elles : **ligaments interépineux**.

Articulation sacro-iliaque

Les articulations sacro-iliaques unissent chaque face latérale du sacrum à l'os iliaque correspondant, participant ainsi à la formation du bassin osseux.

- La surface articulaire de la face latérale du sacrum, appelée surface auriculaire, car elle ressemble au pavillon de l'oreille, correspond aux deux premières vertèbres sacrées; elle est creusée d'une dépression.

- La surface articulaire correspondante de l'os iliaque est située en arrière de sa face interne; elle porte aussi le nom de surface auriculaire et se présente sous la forme d'un renflement. Toutes deux sont recouvertes d'un revêtement mince, cartilagineux en profondeur, fibro-cartilagineux en superficie.

- L'articulation sacro-iliaque est une diarthrose qui comporte une capsule et des ligaments unissant les deux surfaces. Sur une coupe horizontale du bassin, elle est orientée selon un axe oblique en avant et en dehors.

Muscles du rachis

Les nombreux muscles s'insérant sur le rachis ont des actions fort diverses puisque, d'une part, la colonne vertébrale est une tige osseuse mobile en raison de ses propres articulations intervertébrales, et d'autre part la colonne est articulée avec les membres supérieurs par la ceinture scapulaire, et avec les membres inférieurs par la ceinture pelvienne.

Muscles moteurs du rachis

Ce sont les **muscles spinaux** qui sont logés dans les gouttières vertébrales de part et d'autre de la ligne des épineuses. Ces muscles prennent attache sur chaque vertèbre mais aussi sur l'os iliaque. Leur action principale est de permettre l'extension du rachis. Lorsqu'ils se contractent d'un seul côté, ils provoquent un mouvement d'inclinaison ou de rotation du tronc.

Autres muscles s'insérant sur le rachis

- Les **muscles dentelés** placés à la partie supérieure du dos s'étendent de la colonne cervico-dorsale aux côtes. Ils sont élévateurs et abaisseurs



des côtes et jouent donc un rôle important dans la respiration.

- Le **rhomboïde** est un muscle aplati situé à la partie supérieure du dos, recouvrant les dentelés, s'étendant de la colonne cervico-dorsale à l'omoplate dont il permet l'élévation.

- Le **trapèze** s'étend de l'occipital, de la colonne cervicale et dorsale à l'omoplate. Il recouvre la nuque et la partie supérieure du dos. C'est le muscle le plus superficiel de la région; son action est d'élever l'épaule et d'incliner latéralement la tête.

- Le **grand dorsal** (voir muscles du membre supérieur).

- Le **psaos iliaque** (voir muscles du membre inférieur).

Moelle épinière et méninges

Moelle épinière

C'est la partie du système nerveux central située à l'intérieur du canal rachidien, qui transmet les informations entre le cerveau et les nerfs rachidiens qui naissent tout le long de son trajet.

La moelle fait suite au bulbe de l'encéphale à la hauteur du bord supérieur de la 1^{re} vertèbre cervicale (l'atlas).

Elle a la forme d'une tige cylindrique, un peu aplatie d'avant en arrière, et présente deux renflements, l'un cervical l'autre lombaire, correspondant aux segments donnant naissance aux nerfs rachidiens des membres supérieurs et inférieurs.

La moelle se termine à la hauteur de la 2^e vertèbre lombaire, par une partie rétrécie le **cône terminal**; elle est prolongée par le « filum terminale », qui forme avec les dernières racines lombaires et sacrées la **queue de cheval**.

Méninges

La moelle et les racines des nerfs rachidiens sont entourées par des enveloppes, les **méninges**, formées de trois membranes accolées.

- La **dure-mère** est l'enveloppe externe, fibreuse, épaisse et résistante. En dehors d'elle est situé l'espace épidural ou **péridural**.

- L'**arachnoïde** est la membrane intermédiaire, mince lame de tissu conjonctif. Entre la dure-mère et l'arachnoïde se trouve l'espace sous-dural (ou sous-arachnoïdien).

- La **pie-mère** est l'enveloppe la plus interne, fine, qui adhère étroitement au tissu nerveux, dont elle assure la vascularisation. Entre la pie-mère et

l'arachnoïde se trouve l'espace intradural, ou **sous-arachnoïdien**.

Le **cul-de-sac dural** contient la terminaison de la moelle et les racines de la queue de cheval; c'est là que l'on prélève le liquide céphalo-rachidien (LCR) lors des ponctions lombaires, dans l'espace sous-arachnoïdien.

Nerfs du rachis

Chaque nerf rachidien provient de la réunion d'une **racine antérieure** ou **motrice**, issue de la moelle, et d'une **racine postérieure** ou **sensitive**, qui aboutit à la moelle. Le nerf ainsi formé va sortir du canal rachidien par un défilé situé latéralement, entre deux vertèbres, appelé **trou de conjugaison** (figure 2.42).

Le nerf rachidien se divise alors en deux branches, postérieure et antérieure.

Les **branches postérieures des nerfs rachidiens** vont innervier les muscles spinaux et les régulements de la région dorsale du tronc.

Branches antérieures

- Celles des 4 derniers nerfs cervicaux et du 1^{er} nerf dorsal constituent le **plexus brachial** destiné à l'innervation du membre supérieur.

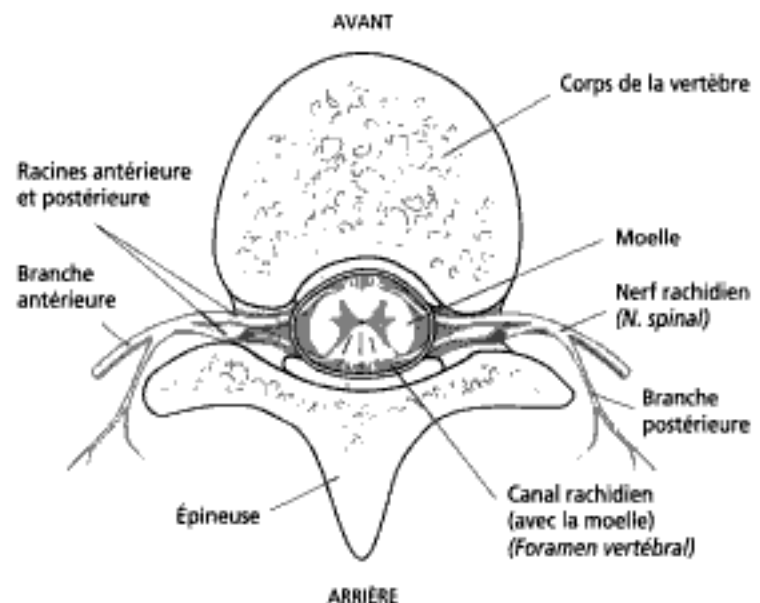


Figure 2.42. L'origine et la formation des nerfs rachidiens.



- Pour les nerfs dorsaux : les branches antérieures sont appelées nerfs intercostaux (12 paires). En effet, ils cheminent après leur sortie du trou de conjugaison dans l'espace situé entre deux côtes et innervent les muscles intercostaux.
- Les branches antérieures des 4 premiers nerfs lombaires vont former le **plexus lombaire** : celui-ci est placé le long des corps vertébraux lombaires sur le muscle psoas. Il donne naissance à des branches collatérales qui innervent le muscle psoas iliaque, et à des branches terminales destinées, d'une part à l'innervation des muscles de la paroi abdominale et à la sensibilité des téguments des bourses et des grandes lèvres, d'autre part à

l'innervation sensitivo-motrice d'une partie du membre inférieur (voir page 42).

- Le **plexus sacré** est constitué par l'anastomose du tronc lombo-sacré (réunion de la branche antérieure de la 5^e racine lombaire et d'une branche anastomotique que lui envoie la 4^e) et des branches antérieures des trois premières racines sacrées. Ses branches terminales et collatérales sont toutes destinées au membre inférieur (voir page 42).

- Le **plexus honteux**, dont les branches sont destinées au rectum, à la vessie, aux organes génitaux et au périnée, est formé par un rameau des branches antérieures des 2^e et 3^e nerfs sacrés unis à la branche antérieure du 4^e.

Système circulatoire



Anatomie du cœur et des gros vaisseaux

Le cœur est un organe musculaire creux comportant deux oreillettes et deux ventricules (figure 3.1). Le muscle cardiaque, ou myocarde,

est un muscle strié dont la principale différence avec les muscles striés squelettiques est qu'il se contracte de façon automatique. L'automatisme cardiaque est possible grâce à un circuit électrique composé de cellules hautement différenciées : le tissu nodal. Le cœur comporte également quatre valves qui assurent l'absence de régurgitation entre les différentes cavités, un système de vascularisation formé des artères et des veines coronaires, et une innervation qui le relie au système nerveux sympathique et parasympathique.

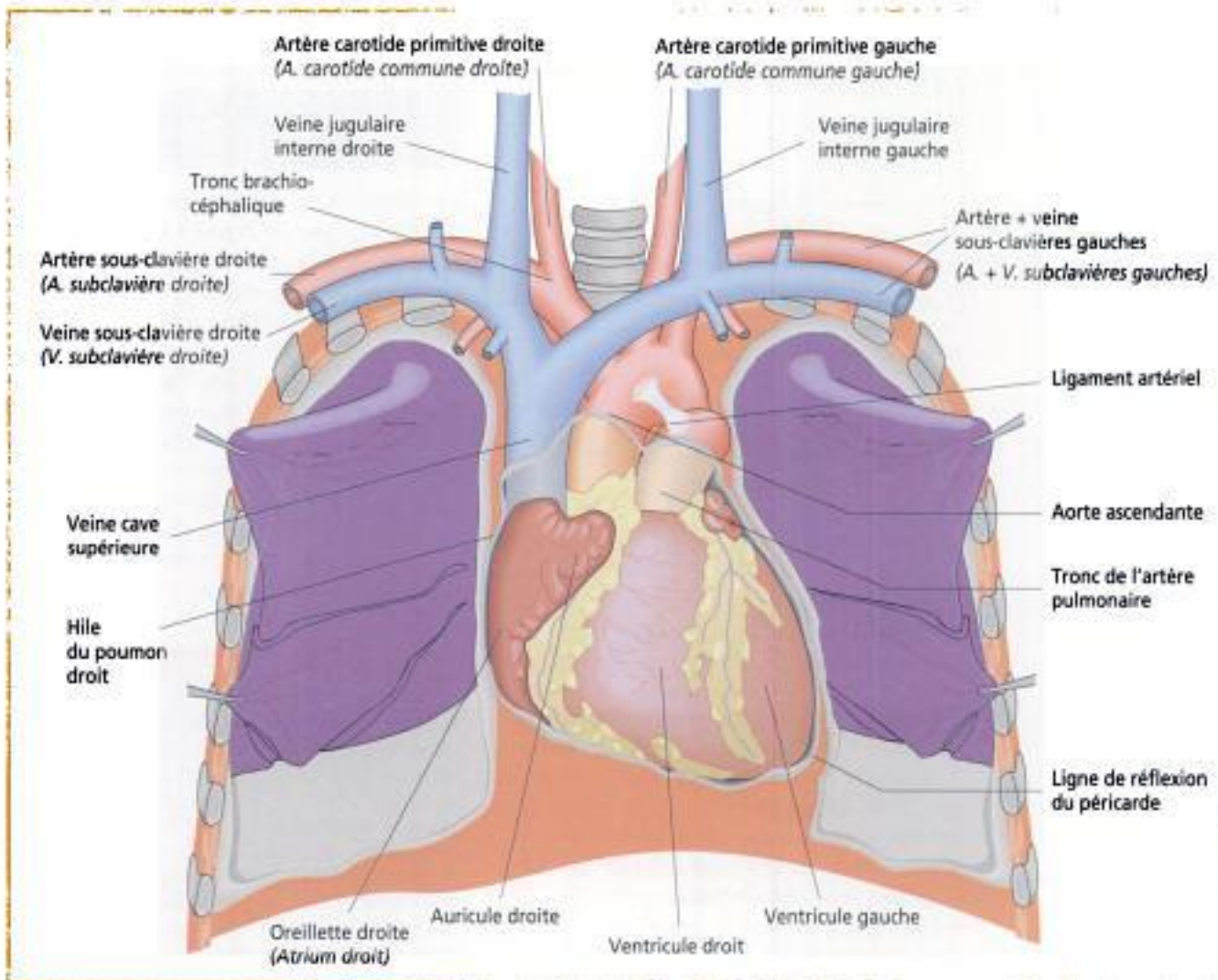


Figure 3.1. Vue antérieure du cœur : les rapports dans le médiastin.



La circulation fœtale est traitée dans le NCI n° 7, *Cardiologie* de J.-L. Monin (2005, 5^e édition) (figure 3.2).

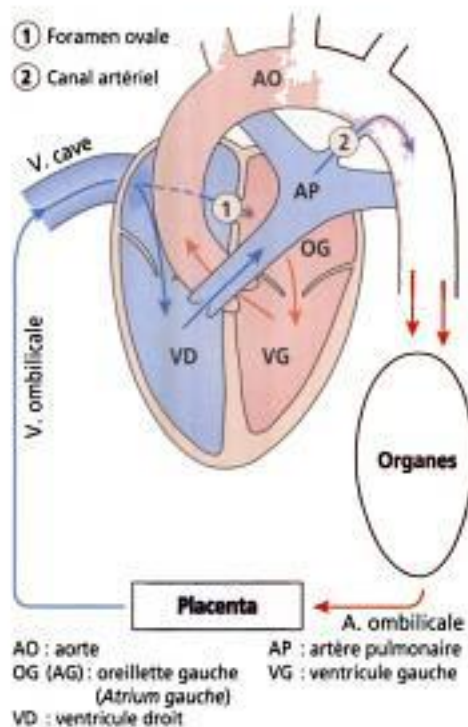


Figure 3.2. La circulation fœtale.

MYOCARDE, ENDOCARDE, PÉRICARDE

Le cœur comporte trois tuniques : le myocarde, l'endocarde ou revêtement interne et le péricarde ou séreuse qui enveloppe le cœur.

- Le muscle cardiaque ou myocarde est d'épaisseur variable dans les différentes cavités. Le ventricule gauche représente la plus grande partie de la masse myocardique avec une épaisseur pariétale atteignant 8 à 10 mm chez l'adulte. L'épaisseur myocardique est moindre pour la paroi ventriculaire droite (5 mm en moyenne) et encore plus faible pour les oreillettes où elle est de 2 mm.
- L'endocarde est la couche cellulaire qui revêt l'intérieur des cavités cardiaques et les valves.
- Le péricarde est l'enveloppe séreuse du cœur ; il comporte un feuillet interne (l'épicarde) qui recouvre directement la surface du myocarde, et un feuillet externe (le péricarde pariétal) situé

immédiatement au contact du précédent. Le péricarde recouvre l'ensemble de la masse cardiaque et s'arrête à la naissance des gros vaisseaux de la base. Les deux feuillets péricardiques délimitent une cavité virtuelle et glissent l'un sur l'autre grâce à la présence d'une très faible quantité de liquide sécrété par les cellules péricardiques.

À RETENIR

Le ventricule gauche est la cavité la plus développée du cœur. L'épaisseur myocardique y est la plus importante ; on la mesure facilement en échographie cardiaque. La paroi ventriculaire droite est plus fine de même que la paroi des oreillettes.

Le péricarde enveloppe le cœur ; il contient habituellement une très faible quantité de liquide et sa cavité est virtuelle. L'échographie cardiaque peut montrer de manière physiologique un discret décollement des feuillets péricardiques en systole.

CIRCULATIONS PULMONAIRE ET SYSTÉMIQUE

Les circulations pulmonaire et systémique sont organisées comme suit (figure 3.3) :

- Le sang veineux provenant de tous les organes, désaturé en oxygène, gagne les veines caves qui débouchent dans l'oreillette droite.
- Il passe à travers la valve tricuspide dans le ventricule droit, est éjecté dans l'artère pulmonaire puis dans ses branches, jusqu'aux capillaires pulmonaires. Le sang s'oxygène dans les capillaires au contact des alvéoles pulmonaires.
- Les veines pulmonaires ramènent à l'oreillette gauche un sang riche en oxygène, qui franchit la valve mitrale, passe dans le ventricule gauche, est éjecté dans l'aorte et dans ses branches pour être distribué à tous les organes.

À RETENIR

Grande et petite circulation

- On parle de *petite circulation*, ou *circulation pulmonaire* pour l'ensemble : cœur droit, artères pulmonaires et veines pulmonaires. La pression systolique dans le ventricule droit et l'artère pulmonaire est de l'ordre de 25 mmHg chez l'adulte jeune.
- La *grande circulation* ou *circulation systémique* comporte le cœur gauche, l'aorte et ses branches, et le système veineux cave et ses collatérales. La pression systolique est nettement plus élevée dans la grande circulation, elle est en moyenne de 120 mmHg dans le ventricule gauche et l'aorte chez l'adulte jeune.

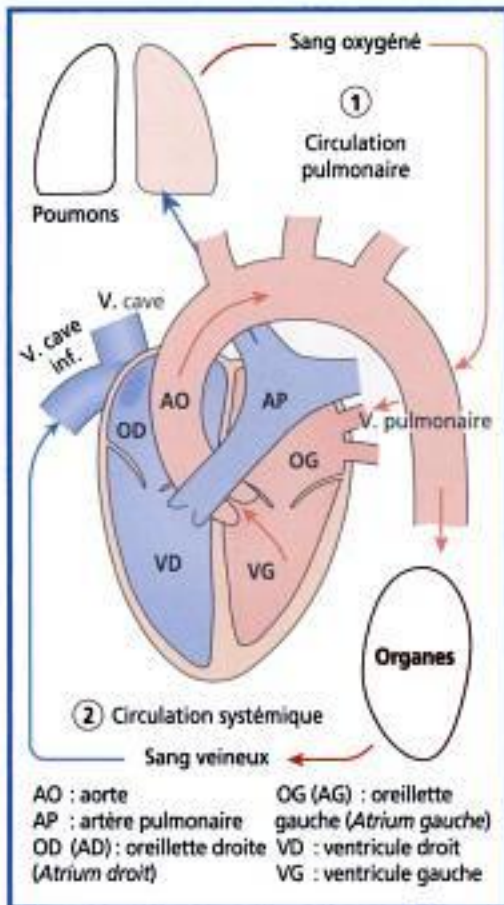


Figure 3.3. Circulations pulmonaire et systémique.

ANATOMIE DESCRIPTIVE ET RAPPORTS

Nous décrivons les différentes structures cardiovasculaires en suivant le sens du flux sanguin. Ainsi nous débuterons par le réseau veineux et les veines caves, puis nous décrirons les cavités droites, les artères et les veines pulmonaires, les cavités gauches et, enfin, l'aorte et ses branches. Les artères coronaires et le tissu nodal seront également décrits.

► Réseaux veineux, veines caves et leurs collatérales

Réseaux veineux des membres

Les membres comportent un réseau veineux profond et un réseau veineux superficiel.

• Le **réseau veineux profond** est constitué de veines qui suivent le trajet des artères et portent le même nom. Chaque artère est accompagnée par

deux veines qui suivent le même trajet et sont reliées par des anastomoses transversales; les artères les plus grosses ne comportent qu'une seule veine satellite: une seule veine axillaire au membre supérieur, un seul tronc veineux tibio-péronier, une veine poplitée et une veine fémorale satellites des artères du même nom au membre inférieur.

• Le **réseau veineux superficiel** de la main et de l'avant-bras se draine dans les veines basilique (face interne du bras) et céphalique (face externe du bras), qui elles-mêmes se terminent dans la veine axillaire (figure 3.4).

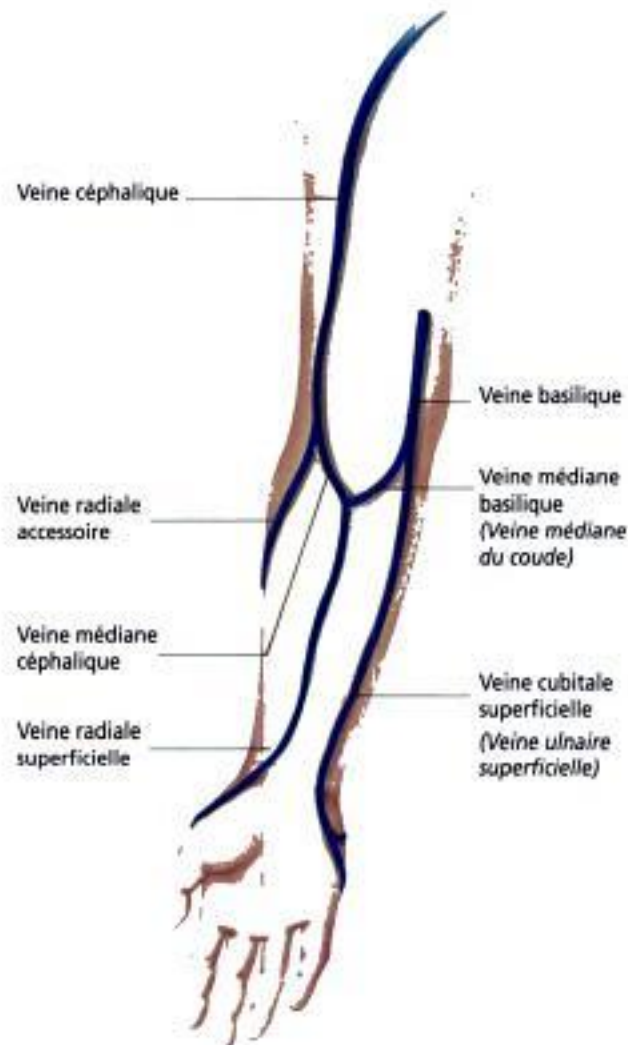


Figure 3.4. Les veines superficielles du bras et de l'avant-bras.



- Le réseau veineux superficiel du membre inférieur est drainé par les veines saphènes. La veine saphène interne remonte le long de la face interne de la jambe et de la cuisse pour se terminer dans la veine fémorale à quelques centimètres au-dessous de l'arcade crurale. La veine saphène externe chemine sur la face postérieure de la jambe et se termine dans la veine poplitée à la face postérieure du genou.

Les veines caves

- Le sang veineux provenant de la partie sus-diaphragmatique du corps (thorax, membres supérieurs, tête et cou) est drainé par la veine cave supérieure. De chaque côté, l'union de la veine sous-clavière (membre supérieur) et de la veine jugulaire interne (hémi-tête) donne un tronc veineux brachiocéphalique. La réunion des deux troncs veineux brachiocéphaliques donne la veine cave supérieure. Habituellement, il existe une seule veine cave supérieure, située à droite de

la colonne vertébrale; elle débouche à la partie haute de l'oreillette droite.

- La veine cave inférieure (VCI) draine le sang veineux de la moitié sous-diaphragmatique du corps, à savoir les membres inférieurs, l'abdomen et le petit bassin. La VCI chemine dans l'abdomen à droite de l'aorte où elle reçoit les veines rénales. Avant de traverser le diaphragme, elle reçoit les veines sus-hépatiques puis débouche à la partie basse de l'oreillette droite par la valvule d'Eustachi (figure 3.5).

► Cœur droit

- L'oreillette droite (OD) est une cavité verticale située en avant et à droite de l'oreillette gauche. Elle comporte une cavité accessoire : l'auricule droite qui est une petite cavité aplatie qui repose sur la face droite de l'oreillette (figure 3.6). Les deux veines caves s'abouchent à la face postérieure de l'oreillette droite.

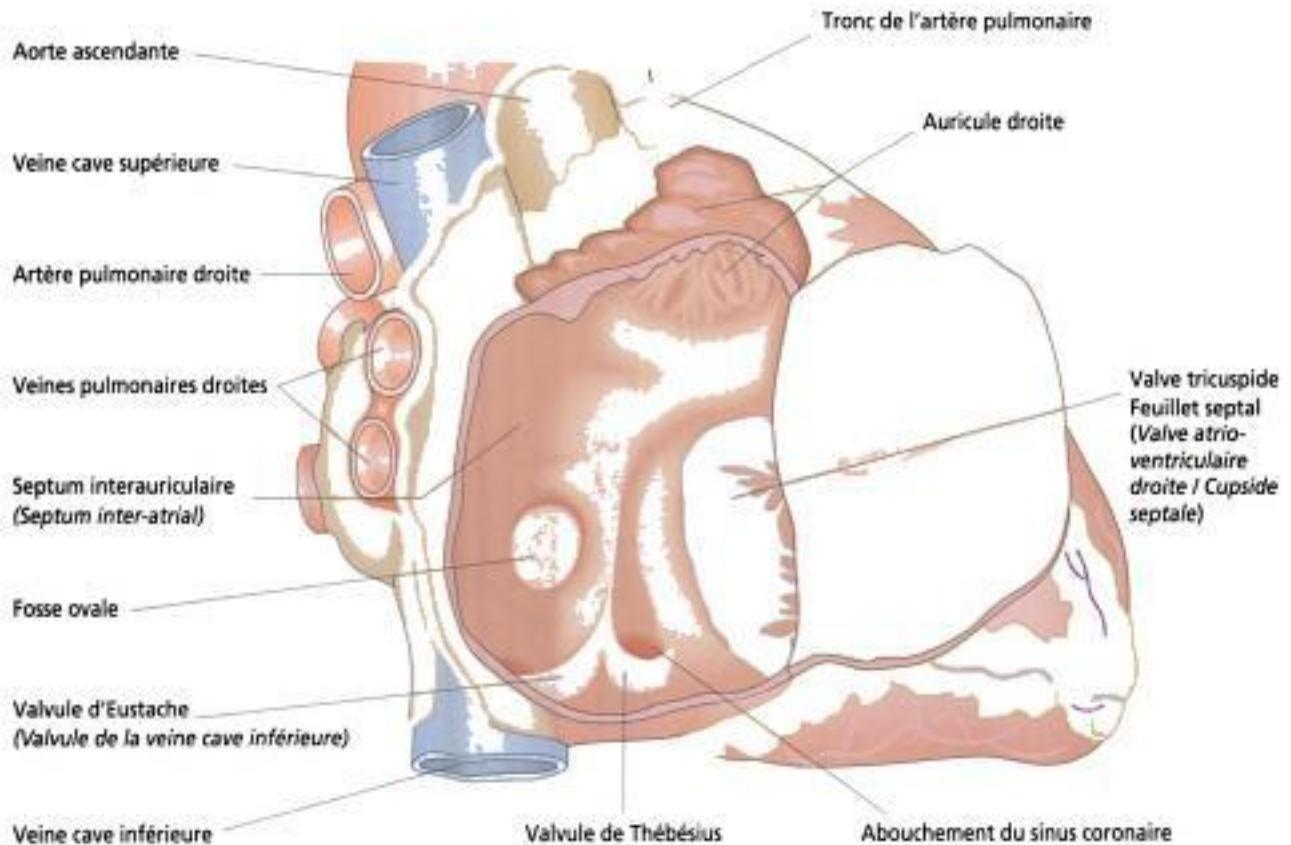


Figure 3.5. Vue latérale de l'atrium droit.



- La veine cave inférieure débouche à la partie basse de l'oreillette droite où elle se termine par un repli membraneux : la valvule d'Eustachi.
- La veine cave supérieure débouche directement à la partie postéro-supérieure de l'oreillette droite.
- La paroi interne de l'OD est constituée par le septum interauriculaire, sur lequel on observe : la fosse ovale, empreinte de l'ostium secundum, et l'orifice d'aboutement du sinus coronaire avec la valvule de Thébesius. À sa partie antérieure, l'oreillette droite se termine par l'orifice tricuspïdien.
- La valve tricuspïde est composée de quatre structures : un anneau sur lequel s'insèrent trois feuillets valvulaires, reliés aux muscles papillaires (ou piliers) par des cordages.

Pour comprendre

VALVE TRICUSPIDE

Anneau tricuspïde

L'anneau tricuspïde délimite la jonction entre l'oreillette droite et le ventricule droit. C'est une structure fibreuse triangulaire arrondie sur laquelle s'insèrent les trois feuillets de la valve.

Feuillets valvulaires

La valve tricuspïde comporte trois feuillets : septal (au contact du septum interventriculaire), antérieur et postérieur (figure 3.6).

Piliers et cordages tricuspïdes

Le bord libre des feuillets tricuspïdes est relié aux parois ventriculaires droites par des cordages tendineux. Ces cordages s'insèrent sur trois saillies du myocarde ventriculaire droit : les piliers de la valve tricuspïde. Chaque pilier est situé en regard du feuillet correspondant ; il existe donc un pilier septal, un pilier antérieur et un pilier postérieur.

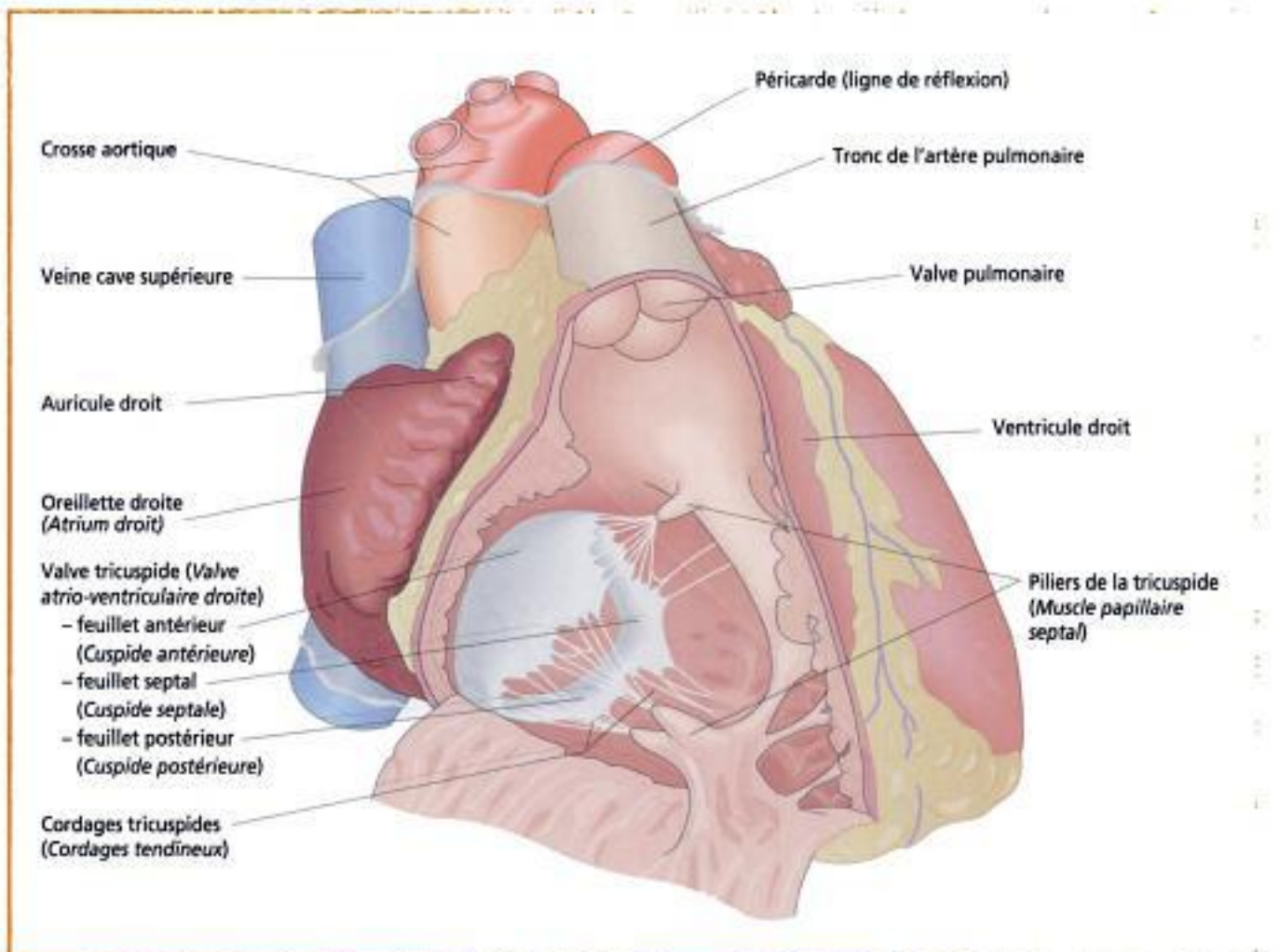


Figure 3.6. Le ventricule droit.



- Le **ventricule droit** recouvre la face droite du ventricule gauche. Sa paroi est fine et sa cavité aplatie. On distingue une chambre de remplissage, située entre l'orifice tricuspide et le plan de la valve tricuspide antérieure, et une chambre d'éjection (ou infundibulum pulmonaire), au-dessus du feuillet antérieur de la valve tricuspide et s'étendant jusqu'à l'orifice pulmonaire.

- La **valve pulmonaire** possède trois valvules sigmoïdes en « nid de pigeon », qui s'insèrent sur l'anneau pulmonaire et dont les bords libres se rejoignent pour assurer l'étanchéité de la valve en diastole (figure 3.6).

► Artère pulmonaire et branches

- L'**artère pulmonaire (AP)** naît de la partie supérieure du ventricule droit; son trajet initial est à peu près vertical, légèrement dirigé vers l'arrière et vers la gauche.

- L'**orifice pulmonaire** est situé en avant et à droite de l'orifice aortique. L'AP remonte le long de la face gauche de l'aorte initiale, puis se divise en deux branches : les artères pulmonaires droite et gauche, chacune se dirigeant vers le hile pulmonaire correspondant (figure 3.8). Le hile est la région interne et moyenne du poumon par où pénètrent l'artère pulmonaire et la bronche homolatérale. L'AP droite a le trajet le plus long; elle passe sous la crosse de l'aorte avant d'atteindre le hile pulmonaire droit.

► Veines pulmonaires

Le sang enrichi en oxygène au niveau des capillaires pulmonaires gagne l'oreillette gauche par les veines pulmonaires (VP) qui débouchent à la face postérieure de l'oreillette gauche. On distingue deux veines pulmonaires supérieures (droite et gauche), et deux veines pulmonaires inférieures (figure 3.7).

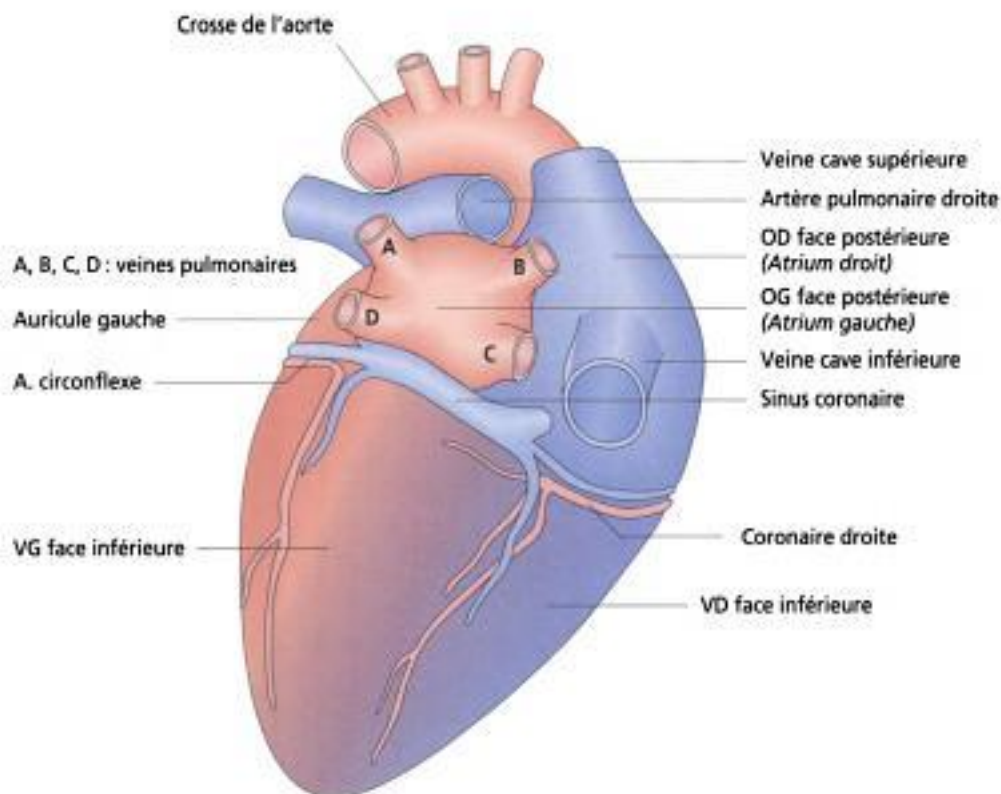


Figure 3.7. Vue postérieure du cœur.



► Cœur gauche

● L'**oreillette gauche (OG)** est une cavité grossièrement sphérique située en arrière du ventricule gauche. Elle est séparée de l'oreillette droite par le septum interauriculaire, qui constitue sa paroi droite, et sur laquelle on retrouve l'empreinte du foramen ovale, normalement étanche à l'âge adulte. La paroi postérieure de l'OG reçoit les quatre veines pulmonaires (figure 3.10) : deux veines droites (supérieure et inférieure) et deux veines gauches (supérieure et inférieure). L'**auricule gauche** est un repli de la cavité auriculaire situé sur sa face latérale gauche entre la veine pulmonaire supérieure gauche et l'anneau mitral (figure 3.8). La face antérieure de l'oreillette gauche communique avec le ventricule gauche par l'orifice mitral.

● La **valve mitrale** sépare l'oreillette du ventricule gauche. Comme la valve tricuspide, elle comporte un anneau, des feuillets valvulaires, des cordages et des piliers musculaires.

Pour comprendre

VALVE MITRALE

Anneau mitral

L'anneau mitral est une structure fibreuse qui délimite la base du ventricule gauche.

La partie antérieure de l'anneau mitral est en continuité avec la valve aortique, plus précisément avec la valvule sigmoïde aortique postérieure (figure 3.9).

Feuillets mitraux

La valve mitrale comporte deux feuillets : la grande valve également appelée valve antérieure, et la petite valve ou valve postérieure.

Les deux feuillets s'insèrent par leur base sur l'anneau mitral et sont séparés par deux commissures (antérieure et postérieure) qui permettent leur ouverture.

Piliers et cordages mitraux

Le bord libre des feuillets mitraux est relié par des cordages tendineux à deux saillies du myocarde ventriculaire gauche : les piliers de la valve mitrale (ou muscles papillaires).

On distingue un pilier antérieur et un pilier postérieur, recevant chacun des cordages des deux feuillets valvulaires (figure 3.10).

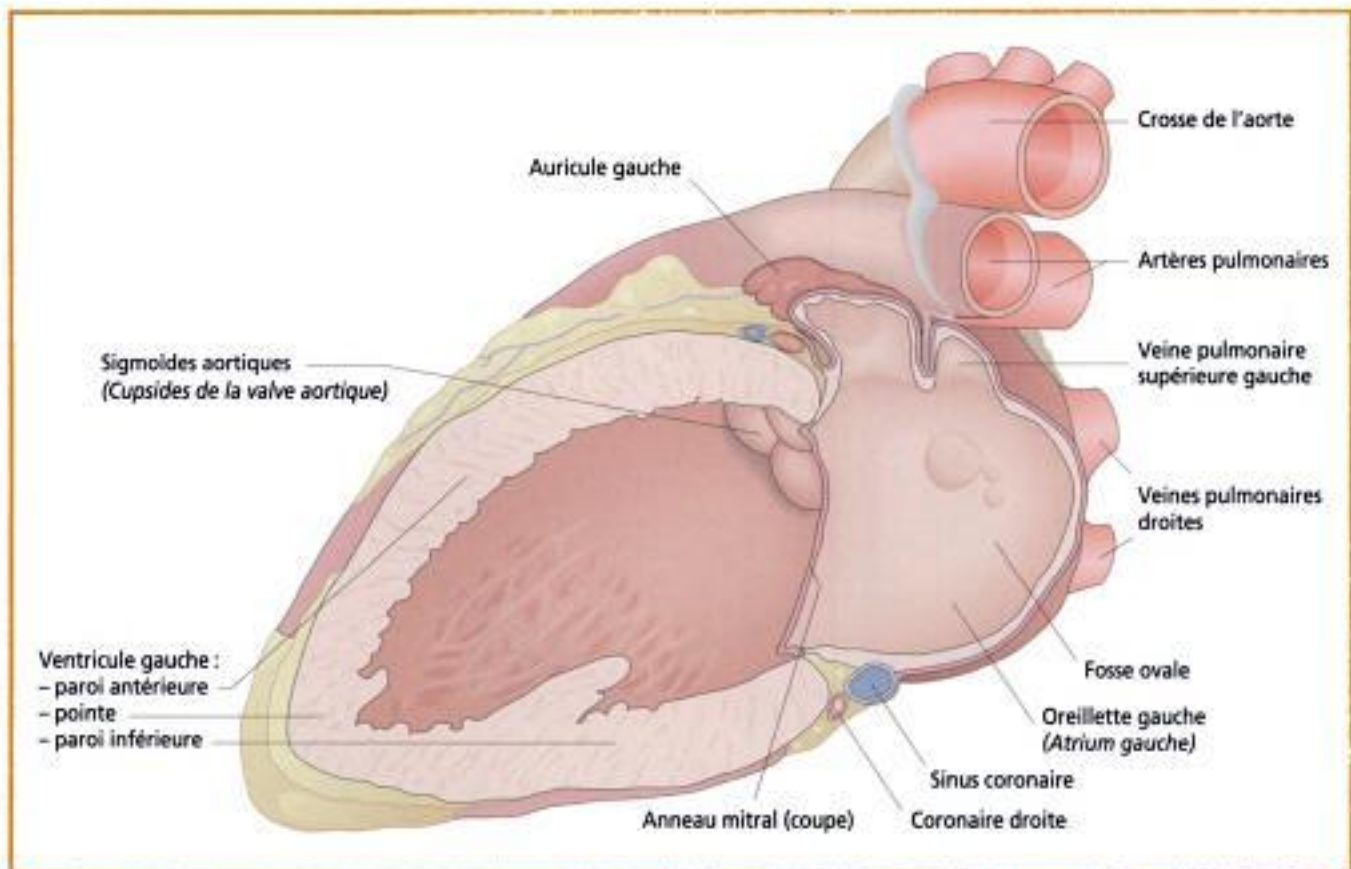


Figure 3.8. Vue ouverte de l'oreillette gauche et du ventricule gauche.

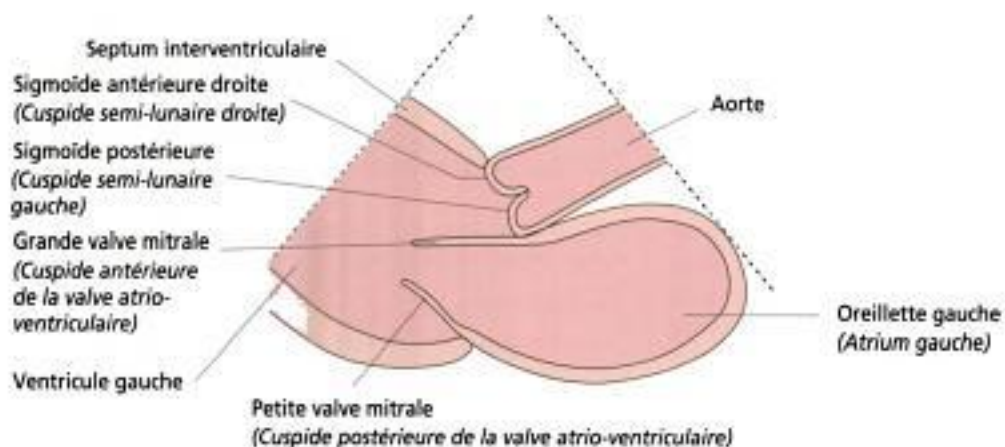


Figure 3.9. Continuité entre la valvule sigmoïde antéro-droite et le septum interventriculaire en avant, entre la valvule sigmoïde postérieure et la grande valve mitrale en arrière.

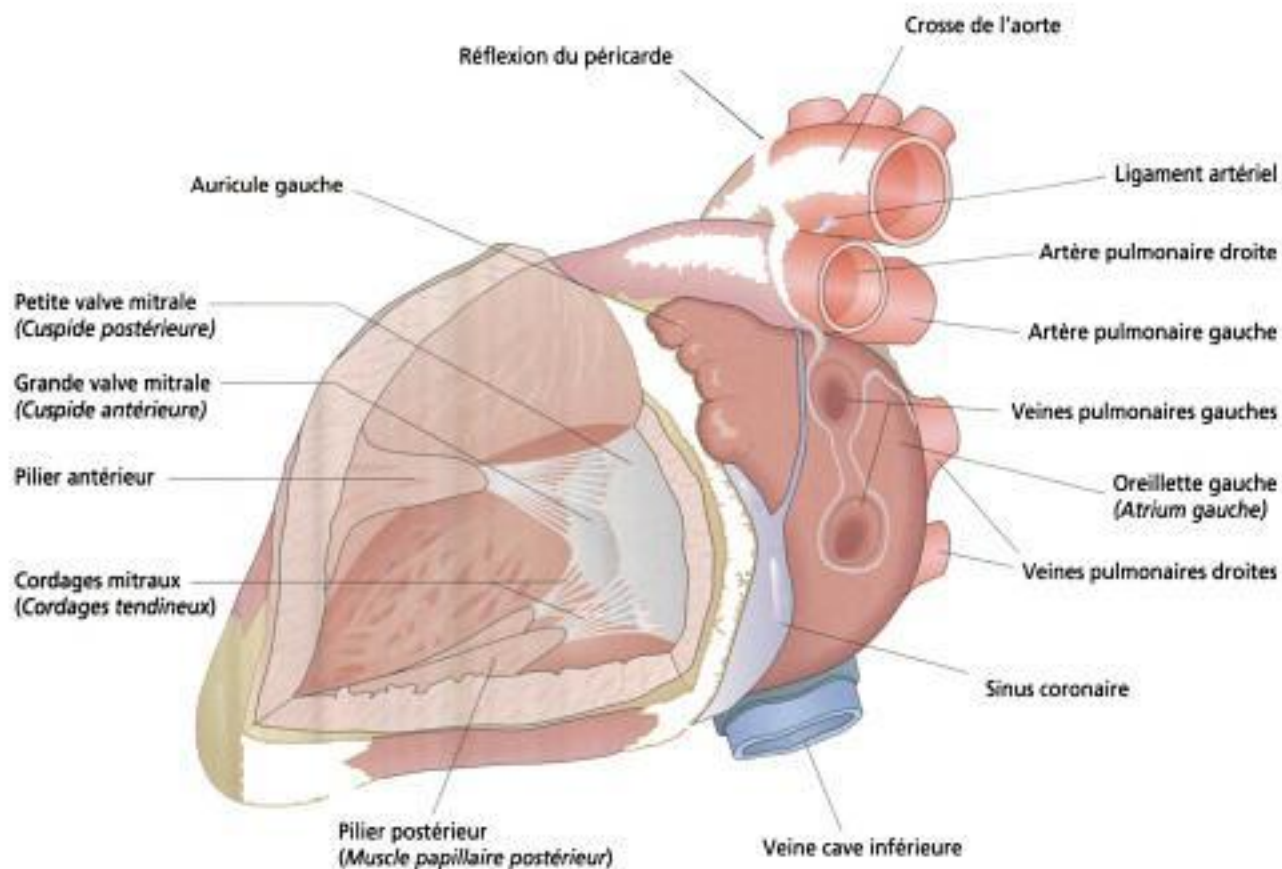


Figure 3.10. Le ventricule gauche ouvert, la valve mitrale, les cordages, les piliers.



• Le ventricule gauche (VG) est beaucoup plus développé que le ventricule droit ; sa paroi est nettement plus épaisse. Le VG représente l'essentiel de la masse musculaire myocardique. On lui décrit :

- une base, limitée par l'anneau mitral,
 - quatre parois : antérieure, latérale, inférieure et septale se rejoignant vers la pointe (ou apex) du ventricule.
- Le septum interventriculaire sépare les cavités ventriculaires gauche et droite ; il présente une concavité orientée vers le ventricule gauche.

Comme pour le VD, on distingue une chambre de remplissage, au-dessous du plan de la grande valve mitrale, et une chambre de chasse, jusqu'à l'orifice aortique.

Sur les parois inférieure et latérale du VG s'insèrent les deux piliers de la valve mitrale : le pilier postérieur (= postéro-médian) et le pilier antérieur (= antéro-latéral) (figure 3.12).

• La valve aortique est composée de trois valvules sigmoïdes en « nid de pigeon » : la sigmoïde postérieure (ou sigmoïde non coronaire), la sigmoïde antéro-droite, en regard de laquelle naît l'artère coronaire droite, et la sigmoïde antéro-gauche proche de l'origine de l'artère coronaire gauche (figure 3.13). La valvule sigmoïde postérieure est proche de la grande valve mitrale et la valvule sigmoïde antéro-droite en continuité avec la base du septum interventriculaire (figure 3.9).

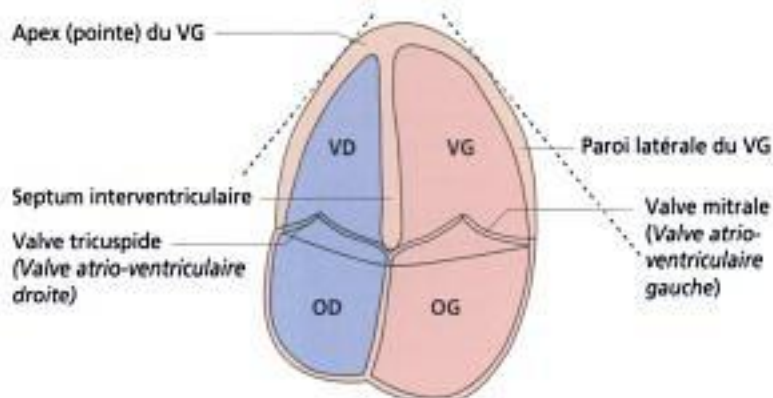


Figure 3.11. Échocardiographie bidimensionnelle, coupe apicale quatre cavités : paroi ventriculaire gauche.

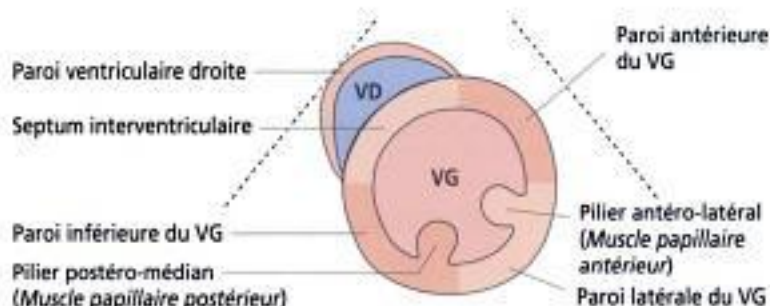


Figure 3.12. Échographie cardiaque bidimensionnelle : coupe transverse du cœur, les parois et les piliers.

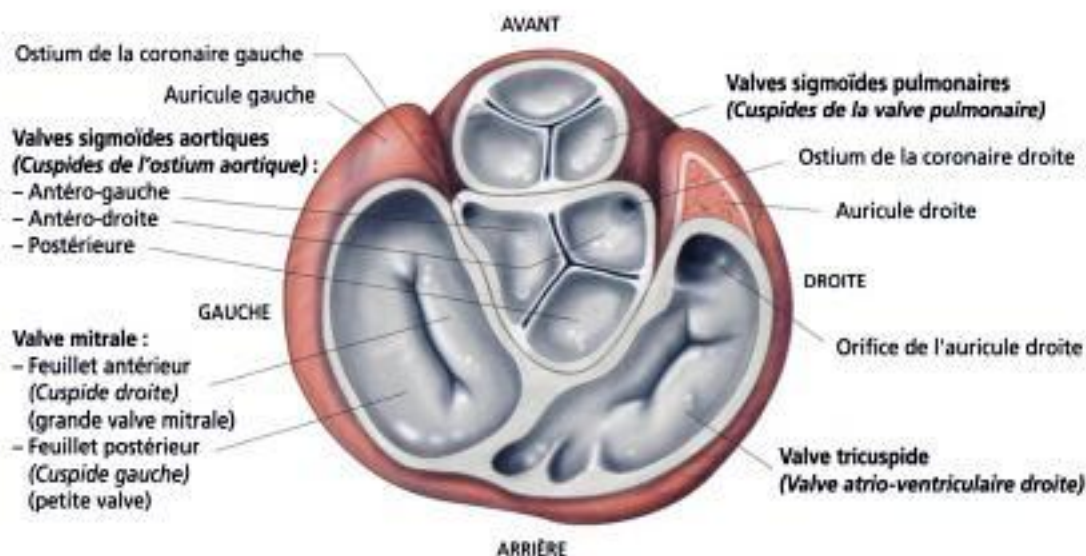


Figure 3.13. Schéma des valvules sigmoïdes aortiques et de la base du cœur.



Aorte thoracique et ses collatérales

L'aorte est le tronc artériel qui naît du ventricule gauche et qui est à l'origine de toutes les artères du corps ; son origine est située en arrière et à gauche de l'artère pulmonaire. L'aorte donne de nombreuses branches collatérales (artères coronaires, artères à destinée cérébrale, sous-clavières, artères intercostales, digestives et rénales...) et se divise dans le petit bassin en deux artères iliaques primitives.

L'aorte thoracique débute à l'orifice aortique et se termine à la traversée du diaphragme où elle devient l'aorte abdominale. La portion initiale de l'aorte a la forme d'une crosse de berger (figure 3.14) et comporte trois segments : ascendant, horizontal et descendant. Les principales branches collatérales de l'aorte thoracique sont les artères coronaires, les troncs supra-aortiques et les artères intercostales.

Étage sus-diaphragmatique
(aorte thoracique + collatérales)

Carotides primitives
(A. carotides communes)
Sous-clavière droite,
branche du tronc artériel
brachiocéphalique
(A. sous-clavière droite)

Sous-clavière gauche, branche
directe de la crosse de l'aorte
(A. sous-clavière gauche)

Les trois premières intercostales
viennent de la sous-clavière

Étage sous-diaphragmatique
(aorte abdominale + collatérales
et branches terminales)

Diaphragme inférieure
(Artère phrénique inférieure)

Surrénale moyenne
Rénale

Artères lombaires

Génitale (spermatique
ou ovarienne)
(testiculaire ou ovarique)

Iliacque interne
ou hypogastrique

Iliacque externe
devenant fémorale

Artères intercostales

Tronc cœliaque et ses trois
branches terminales :
– coronaire stomacique
(A. gastrique gauche)
– splénique
– hépatique
(hépatique commune)

Mésentérique supérieure

Mésentérique inférieure

Figure 3.14. Les artères du tronc.



Pour comprendre

LES TROIS SEGMENTS DE L'AORTE THORACIQUE

1. Aorte ascendante

L'aorte ascendante est la partie initiale qui débute à l'orifice aortique et se termine à l'origine du tronc artériel brachiocéphalique. Cette portion est verticale et chemine entre le tronc de l'artère pulmonaire en avant et la veine cave supérieure en arrière (figure 3.15).

2. Aorte horizontale

C'est la portion d'où naissent les troncs supra-aortiques (TSA); elle est située entre les parties ascendante et descendante de l'aorte. Les TSA naissent de la face supérieure de la crosse aortique dans l'ordre suivant (figure 3.14) : tronc artériel brachiocéphalique, artère carotide primitive gauche et artère sous-clavière gauche qui marque la limite entre les parties horizontale et descendante de l'aorte.

3. Aorte descendante

L'isthme aortique est la partie initiale de l'aorte descendante qui est reliée à la bifurcation de l'artère pulmonaire par le ligament artériel, reliquat embryonnaire du canal artériel (figures 3.1 et 3.10). L'aorte descend ensuite le long du bord gauche du rachis jusqu'à la traversée du diaphragme où elle devient l'aorte abdominale.

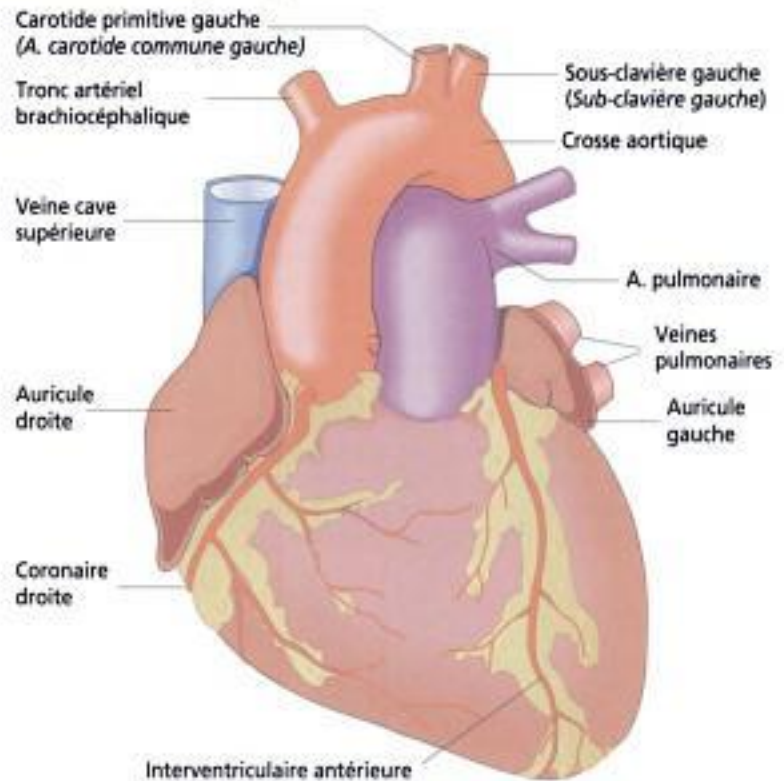


Figure 3.15. Les artères coronaires sur une vue antérieure du cœur.

Artères coronaires

Les artères coronaires sont les premières branches collatérales naissant de l'aorte, juste au-dessus des valvules sigmoïdes aortiques. Les **sinus de Valsalva** sont des renflements au-dessus des valvules sigmoïdes aortiques, dans lesquels sont situés les **ostiums** (l'origine) des artères coronaires.

- L'artère coronaire droite (CD) naît en regard de la sigmoïde antéro-droite (figure 3.13). Elle descend sur la face antérieure du ventricule droit et gagne la face inférieure du cœur, puis se divise en une artère rétroventriculaire (rétro-VG) et une artère interventriculaire postérieure (IVP; figure 3.16). L'artère coronaire droite vascularise essentiellement le ventricule droit, l'oreillette droite et la face inférieure du ventricule gauche.

- L'artère coronaire gauche naît en regard de la sigmoïde antéro-gauche. Elle débute par le tronc commun qui se divise en deux artères : **interventriculaire antérieure (IVA)** et **circonflexe (Cx)**, figure 3.17).



Figure 3.16. L'artère coronaire droite (réseau coronaire droit).

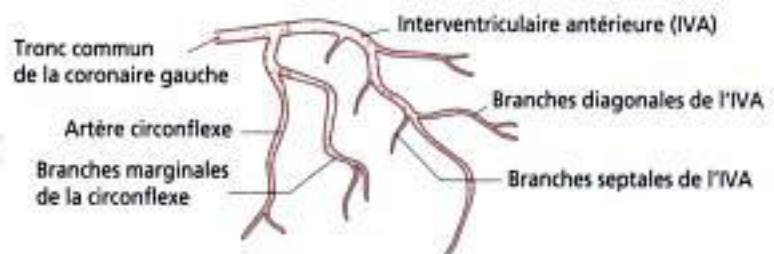


Figure 3.17. Les artères interventriculaire antérieure et circonflexe (réseau coronaire gauche).



Pour comprendre

Artères de la tête et du cou

L'ensemble tête et cou est vascularisé par les branches de quatre artères : les deux artères carotides primitives et les deux artères sous-clavières.

– Chaque artère sous-clavière donne une **artère vertébrale** homolatérale qui monte le long des faces latérales du rachis cervical dans le canal transversaire avant de pénétrer dans la boîte crânienne (figure 3.18). Les artères vertébrales participent à la vascularisation de l'**encéphale** et sont reliées entre elles et avec les branches terminales de la carotide interne par le **polygone de Willis**.

– Chaque artère carotide primitive se divise en deux branches : interne et externe (figure 3.18). Les **carotides internes** pénètrent dans la boîte crânienne et se divisent en branches terminales pour vasculariser l'**encéphale** et les **globes oculaires**. Les **carotides externes** restent à l'extérieur de la boîte crânienne ; elles se divisent en de nombreuses branches terminales au-dessus de l'angle de la mâchoire pour vasculariser la peau du crâne et de la face.

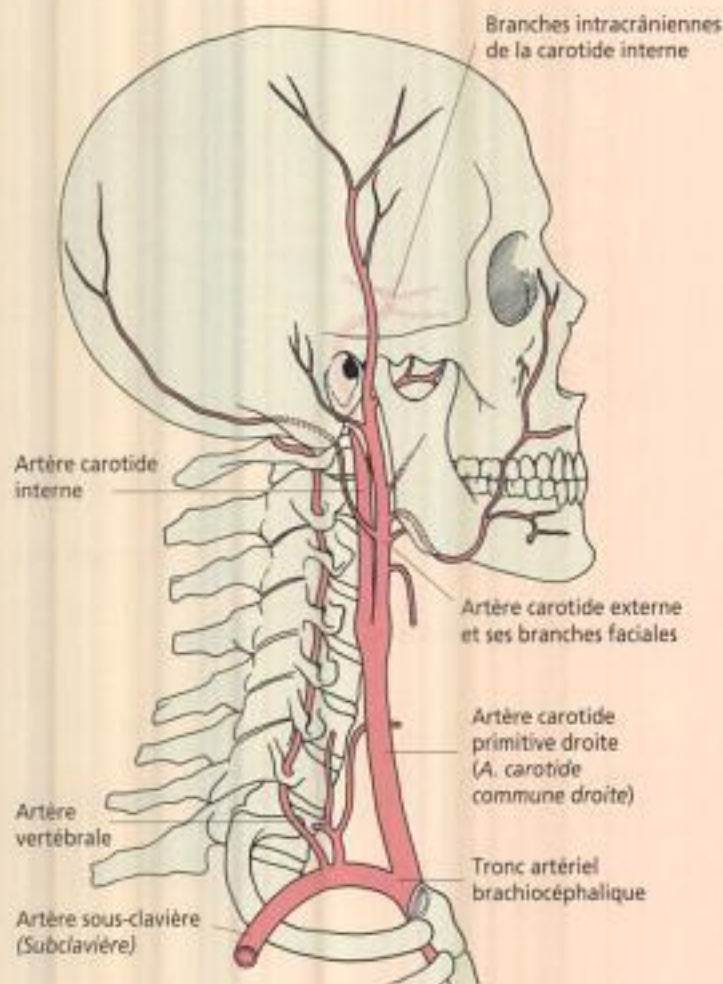


Figure 3.18. Les artères de la tête et du cou.

Artères des membres supérieurs

Chaque membre supérieur est vascularisé par l'artère **sous-clavière** homolatérale qui devient l'**artère axillaire** en passant sous la clavicule. L'**artère brachiale** se divise au coude en artères **radiale** et **ulnaire** qui sont reliées à la main par les deux **arcades palmaires** d'où naissent les **artères digitales** (figure 3.19).

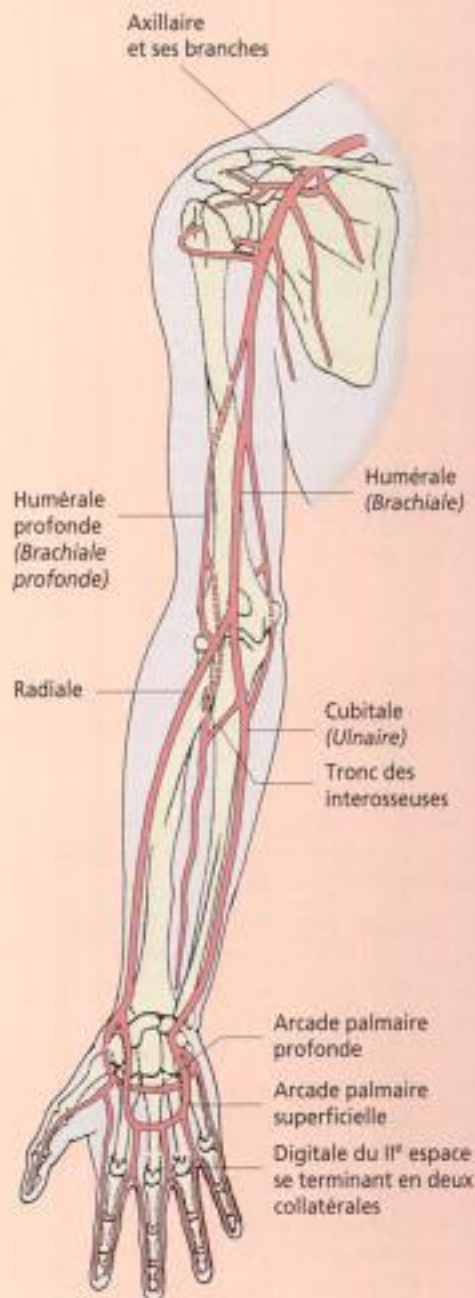


Figure 3.19. Les artères du membre supérieur.



L'IVA est la principale artère du cœur. Son territoire est le plus étendu : elle vascularise les parois antérieure, septale et la pointe du ventricule gauche. L'IVA chemine dans le sillon interventriculaire antérieur ; elle donne des branches septales qui descendent verticalement et des branches diagonales qui cheminent à la face antérieure du ventricule gauche.

L'artère circonflexe descend sur la face gauche du cœur dans le sillon auriculo-ventriculaire et donne des branches marginales (ou latérales) gauches. L'artère circonflexe vascularise essentiellement la face latérale du ventricule gauche et, en fonction de son étendue, une portion plus ou moins grande de la face inférieure du ventricule gauche.

● **Les veines coronaires** suivent le trajet des artères (en sens inverse), et se collectent dans le sinus coronaire, qui chemine dans le sillon interauriculaire gauche (figure 3.7) et s'abouche dans l'oreillette droite, à la partie basse du septum interauriculaire par la valve de Thébesius (figure 3.5).

Troncs supra-aortiques

Les troncs supra-aortiques (TSA) naissent de la face supérieure de l'aorte horizontale. Ils sont au nombre de trois : tronc artériel brachio-céphalique (qui se divise en artères carotide primitive et sous-clavière droites), artère carotide primitive gauche et artère sous-clavière gauche ; les TSA vascularisent l'ensemble tête et cou et les membres supérieurs (figure 3.14).

Artères intercostales

Les artères intercostales sont destinées à la vascularisation de la paroi thoracique ; les trois premières intercostales naissent de l'artère sous-clavière homolatérale, les paires suivantes naissent directement de l'aorte thoracique descendante tout au long de son trajet jusqu'au diaphragme (figure 3.14).

► Aorte abdominale et collatérales

L'aorte abdominale fait suite à l'aorte thoracique descendante après la traversée du diaphragme. Elle chemine dans l'espace rétro-péritonéal et longe le bord gauche du rachis lombaire avant de se diviser en deux artères iliaques primitives qui plongent dans le petit bassin. Les principales collatérales de l'aorte abdominale sont les artères digestives, les

Pour comprendre

COLLATÉRALES DE L'AORTE ABDOMINALE

Artères diaphragmatiques inférieures

Les artères diaphragmatiques inférieures sont les premières collatérales de l'aorte abdominale ; elles donnent une branche pour la glande surrénale correspondante et vascularisent ensuite la face inférieure du diaphragme (figure 3.14).

Artères digestives

Les artères digestives naissent de la face antérieure de l'aorte abdominale au niveau des premières vertèbres lombaires ; elles comportent, de haut en bas, le tronc coeliaque, l'artère mésentérique supérieure et l'artère mésentérique inférieure (figure 3.14).

Le **tronc coeliaque** se divise en trois branches terminales :

- l'artère coronaire stomacique qui vascularise l'estomac,
- l'artère splénique destinée à la rate,
- l'artère hépatique qui vascularise le foie.

L'artère **mésentérique supérieure** naît au même niveau que les artères rénales (1^{re} vertèbre lombaire) et vascularise essentiellement l'intestin grêle et la moitié droite du côlon.

L'artère **mésentérique inférieure** naît en regard de la troisième vertèbre lombaire et vascularise la moitié gauche du côlon et le rectum.

Artères rénales

Les artères rénales naissent de part et d'autre de l'aorte abdominale en regard de la 1^{re} vertèbre lombaire ; chacune se dirige vers le hile rénal correspondant avec la veine rénale homolatérale. Les artères surrénales naissent juste au-dessus des artères rénales et se dirigent vers la glande surrénale homolatérale.

Artères génitales

Les artères ovariennes chez la femme ou spermatiques chez l'homme naissent des faces latérales de l'aorte abdominale, au-dessous des rénales en regard de la 2^e vertèbre lombaire ; chacune se dirige vers les organes génitaux correspondants.

Artères lombaires

Les cinq paires d'artères lombaires naissent de la paroi postérieure de l'aorte entre la 1^{re} et la 4^e vertèbre lombaire ; elles vascularisent la paroi et le rachis lombaire.

artères rénales et surrénales, les artères génitales et les artères lombaires (figure 3.14).

► Branches terminales de l'aorte

L'aorte se divise en regard de la 5^e vertèbre lombaire en deux branches terminales principales : les deux artères iliaques primitives droite et gauche (Il existe une 3^e branche postérieure de moindre importance : l'artère sacrée moyenne). Chaque artère iliaque primitive se divise en deux branches : une iliaque interne qui irrigue essentiellement le petit bassin et une iliaque externe qui vascularise le membre inférieur homolatéral (figure 3.14).



Pour comprendre

Artères des membres inférieurs

L'artère *iliaque externe* devient l'artère *fémorale commune* en passant sous l'arcade crurale; elle se divise ensuite à la cuisse en une *fémorale profonde* et une *fémorale superficielle*. Au genou, l'artère fémorale superficielle devient l'artère poplitée qui donne trois troncs vascularisant la jambe : les artères *tibiale antérieure*, *tibiale postérieure* et *péronière*. Les artères tibiales se terminent au pied par les artères *plantaires* et *pédieuses* qui vascularisent le pied (figure 3.20).

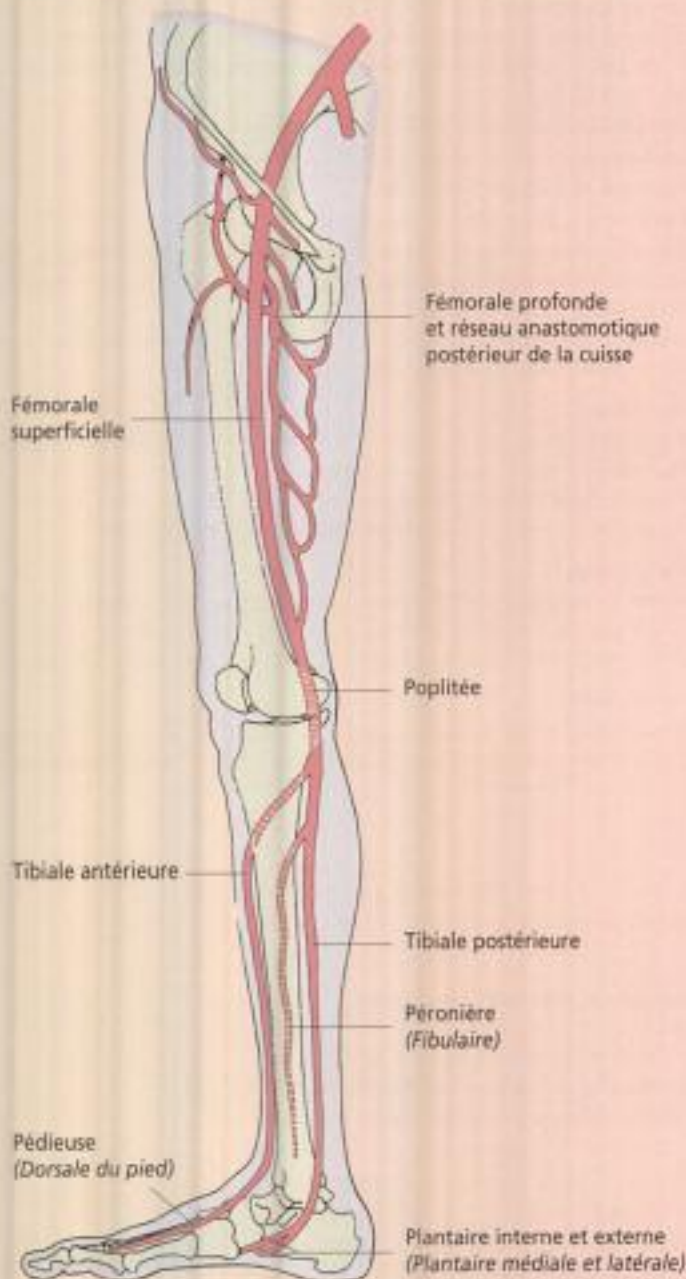


Figure 3.20. Les artères du membre inférieur.

► Tissu nodal

Le tissu nodal est formé de cellules nerveuses capables de transmettre un influx électrique, et d'entretenir une contraction automatique du myocarde. Il est réparti des oreillettes aux ventricules selon la disposition suivante (figure 3.21) :

- Le **nœud sinusal** ou nœud de Keith et Flack, situé dans le toit de l'oreillette droite, est le point de départ de l'automatisme cardiaque.
- Le **nœud auriculo-ventriculaire** ou nœud de Tawara est situé à la base du septum interauriculaire; il se poursuit par le **faisceau de His**, qui chemine dans le septum interventriculaire, puis se divise en une branche droite (pour le ventricule droit) et une branche gauche (pour le ventricule gauche).
- Chacune de ces branches se ramifie ensuite en de multiples fibres : le réseau de Purkinje qui parcourt les ventricules.

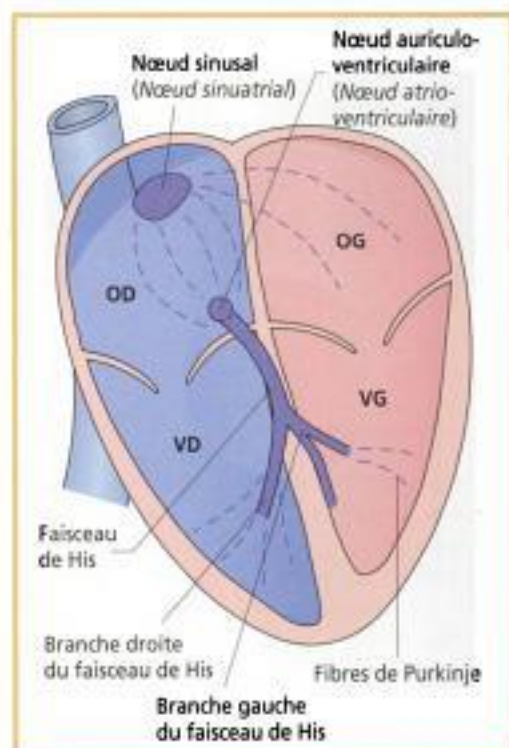


Figure 3.21. Tissu nodal.

► Rapports

Le cœur est situé dans le médiastin antérieur (figure 3.1); la pointe du ventricule gauche est orientée vers l'avant et la gauche, d'où le fait que la



masse cardiaque déborde vers l'hémithorax gauche. Dans le médiastin, le cœur est en rapport avec :

- en avant : les culs-de-sac pleuraux antérieurs puis le sternum ;
- en arrière : l'œsophage, l'aorte descendante, les bronches et la trachée qui le séparent de la colonne vertébrale ;
- de chaque côté, les hiles pulmonaires, qui comportent chacun, une bronche souche, une artère et deux veines pulmonaires.

Physiologie cardio-vasculaire

SYSTOLE/DIASTOLE

Le cycle cardiaque comporte :

1. la contraction isovolumétrique,
2. l'éjection ventriculaire dans l'aorte et l'artère pulmonaire,
3. la relaxation isovolumétrique des ventricules,
4. le remplissage des ventricules.

La systole ventriculaire comporte la contraction isovolumétrique, l'éjection, et la relaxation isovolumétrique.

volumétrique. La diastole comporte donc essentiellement le remplissage des ventricules, avec une dernière phase de remplissage lié à la contraction des oreillettes (systole auriculaire correspondant à l'onde P sur l'ECG).

Pour comprendre

Systole/diastole

L'auscultation cardiaque permet de distinguer systole et diastole. Chez un patient en rythme sinusal, on perçoit la succession régulière de deux bruits entrecoupés par deux silences :

- un 1^{er} bruit sourd (B1), suivi d'un court silence ;
- un 2^e bruit plus aigu (B2), suivi d'un silence plus long.

B1 correspond à la **fermeture des valves auriculo-ventriculaires** et marque le début de la systole. En dehors des accélérations de la fréquence cardiaque, la systole est plus courte que la diastole, d'où un intervalle de temps entre B1 et B2 plus court qu'entre B2 et B1. B2 correspond à la **fermeture des valvules sigmoïdes aortiques et pulmonaires** et marque le début de la diastole.

La palpation simultanée du pouls radial pendant l'auscultation du cœur permet de bien différencier systole et diastole : pendant la systole (intervalle de temps le plus court, entre B1 et B2), on perçoit le pouls radial alors qu'on ne sent rien entre B2 et B1 (diastole).

Relaxation isovolumétrique

La **relaxation isovolumétrique** est un phénomène musculaire actif qui précède le remplissage ventriculaire et les physiologistes l'attribuent généralement à la systole, bien que, du point de vue du clinicien, la relaxation isovolumétrique a lieu après le 2^e bruit (entre la fermeture des sigmoïdes et l'ouverture des valves mitrale et tricuspidale), donc pendant la diastole.

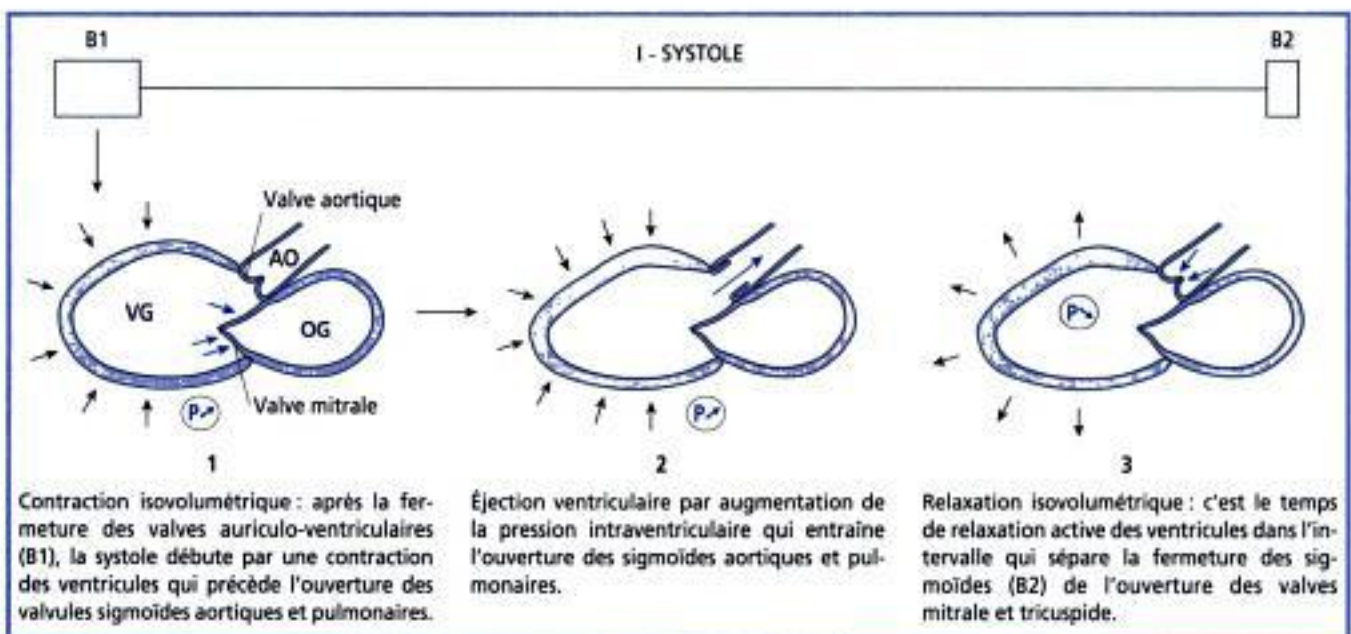


Figure 3.22. La systole. La systole se déroule en trois phases.

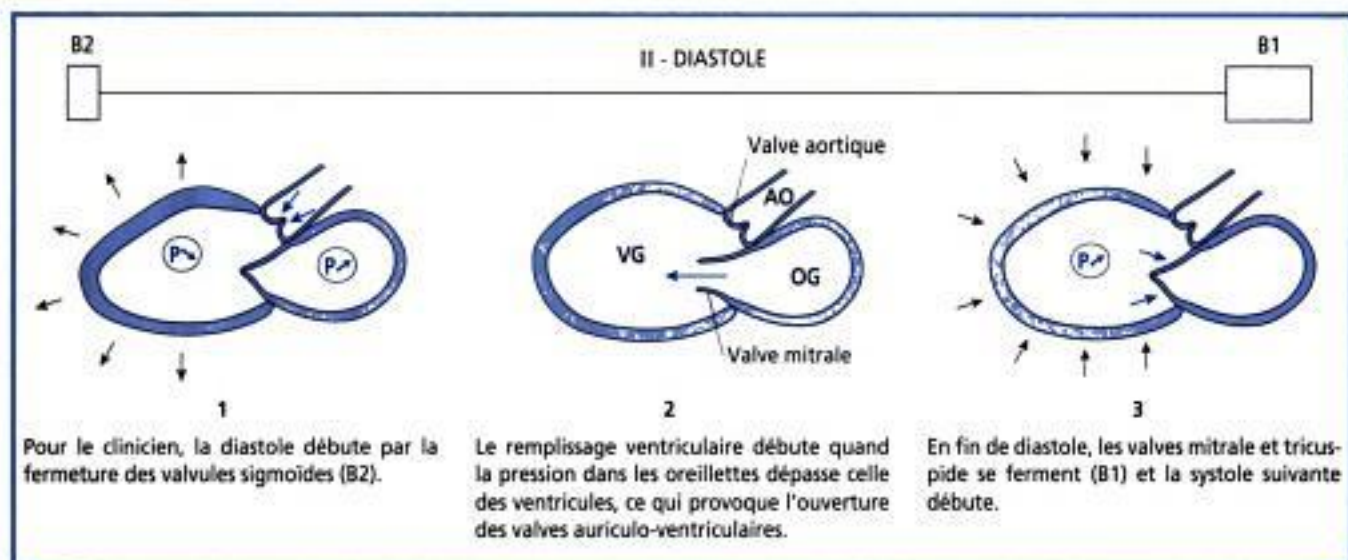


Figure 3.23. La diastole.

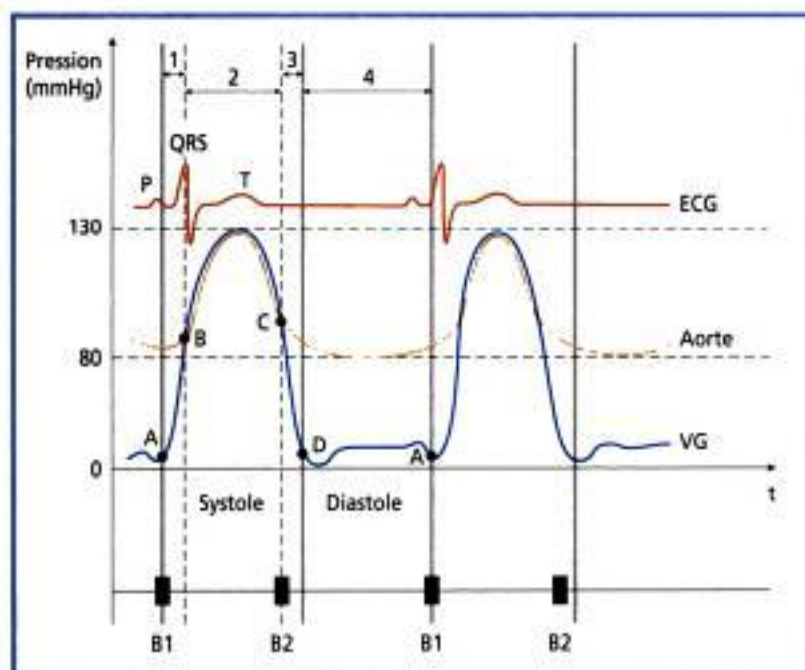


Figure 3.24. La courbe des pressions VG/aorte.

Point A = fermeture de la valve mitrale (contemporaine du B1); point B = ouverture des sigmoïdes aortiques; point C = fermeture des sigmoïdes aortiques (contemporaine du B2); point D = ouverture de la valve mitrale. Intervalle 1 (de A à B) = contraction isovolumétrique; Intervalle 2 (de B à C) = éjection ventriculaire gauche; Intervalle 3 (de C à D) = relaxation isovolumétrique; Intervalle 4 (de D en A) = remplissage ventriculaire gauche.

À RETENIR

- La systole comporte essentiellement l'éjection ventriculaire à travers les valvules aortique et pulmonaire.
- La diastole donne lieu au remplissage des ventricules; elle dure plus longtemps que la systole.

PRESSIION ARTÉRIELLE

Le sang artériel circule grâce à la pression hydraulique générée par les contractions cardiaques et par le tonus vasoconstricteur des artères. La courbe de pression artérielle passe par un maximum en systole (pression systolique) et un minimum en diastole (pression diastolique). En diastole, la pression reste plus élevée dans l'aorte et ses branches que dans le ventricule gauche où elle descend à 5 mmHg.

À RETENIR

La pression artérielle normale chez un adulte jeune est entre 120 et 130 mmHg pour la systolique et 70 et 80 mmHg pour la diastolique.

La PA est physiologiquement plus élevée chez les sujets âgés où l'on trouve fréquemment une systolique entre 130 et 140 mmHg et une diastolique entre 80 et 90 mmHg.

Chez l'enfant, la PA est plus basse que chez l'adulte. Il existe des courbes auxquelles on doit se référer en fonction de l'âge.



Pour comprendre

Pression artérielle

La pression artérielle (PA) correspond à la courbe des pressions enregistrées dans l'aorte ou dans l'artère humérale.

Unités

On mesure la pression artérielle en millimètres de mercure (mmHg) ; la prise de la PA par un brassard permet de donner deux chiffres qui représentent les pressions artérielles maximale (= systolique) et minimale (= diastolique).

Principe de mesure au stéthoscope

Lorsque l'on gonfle un brassard à une pression supérieure à la PA systolique, le flux artériel est stoppé (effet garrot). En dégonflant progressivement le brassard, le flux artériel pulsé reprend lorsque la pression du brassard est égale à la pression systolique ; la réapparition des pulsations est audible au stéthoscope posé sur l'artère humérale ; l'apparition des pulsations correspond donc à la PA systolique. La pression du brassard continuant à baisser devient égale à la PA minimale (= diastolique), ce qui fait disparaître les pulsations audibles à l'auscultation et correspond à la PA diastolique.

Mesure au pouls

La prise du pouls radial ne permet de mesurer que la PA systolique. On repère le pouls radial, on gonfle le brassard à une pression supérieure à la PA maximale ce qui entraîne la disparition du pouls par effet garrot. Lors du dégonflage progressif, la réapparition du pouls correspond à la PA systolique.

Mesure automatique

La pression artérielle peut être mesurée automatiquement par un appareillage électronique relié à un brassard identique à celui que l'on utilise pour une mesure manuelle. Il existe deux types d'appareils automatiques de mesure tensionnelle :

- Des appareils fixes (type Dynamap) utilisés en unité de soins intensifs ou en salle d'examen (échocardiographie de stress par exemple). Le brassard se gonfle automatiquement à intervalles réguliers (exemple : toutes les 3 minutes) et l'appareil mesure la pression artérielle en fonction de la réapparition du pouls exactement comme lors d'une mesure manuelle. Un tel module de mesure automatique peut être intégré dans un « scope » d'unité de soins intensifs.

- Des appareils portables, appelés « holter tensionnels », pour la mesure ambulatoire de pression artérielle (MAPA). Ces appareils comportent un boîtier électronique de petite taille, ressemblant à un boîtier de Holter, avec une cartouche de gaz intégrée qui permet de gonfler un brassard tensionnel toutes les 15 à 30 minutes pendant 24 heures. Ceci permet d'avoir une courbe de mesures de la pression artérielle sur 24 heures dont les renseignements sont plus précis que ceux apportés par une mesure isolée.

Mesure invasive

La pression artérielle peut enfin être mesurée de manière invasive en réanimation ou au bloc opératoire. On place un cathéter dans une artère (radiale le plus souvent) qui est relié à un capteur de pression, lui-même relié à un scope. Cet appareillage permet d'avoir sur le scope la courbe de pression artérielle « en direct », battement par battement (figure 3.24).

DÉBIT CARDIAQUE

Le débit cardiaque est exprimé en litres par minute (L/min) et peut être mesuré de manière invasive ou non invasive. En l'absence de communication intracardiaque anormale, le débit est le même dans les cavités droites et dans les cavités gauches.

► Mesure du débit cardiaque par méthode invasive

La méthode la plus couramment utilisée en réanimation ou au bloc opératoire est le cathétérisme droit par une sonde de Swan-Ganz (figure 3.26). Cette sonde est habituellement mise en place par voie veineuse centrale (veine jugulaire interne) et positionnée dans une artère pulmonaire (figure 3.25), elle permet de mesurer le débit cardiaque par la méthode de thermodilution. Cette méthode consiste à injecter du sérum physiologique froid par l'orifice proximal de la sonde situé dans l'oreillette droite, et à mesurer la différence de température par l'orifice distal de la sonde situé dans l'artère pulmonaire. Ainsi, plus le débit cardiaque est abaissé, plus le sang a eu le temps de se réchauffer et plus la température est élevée au niveau de l'orifice distal de la sonde.

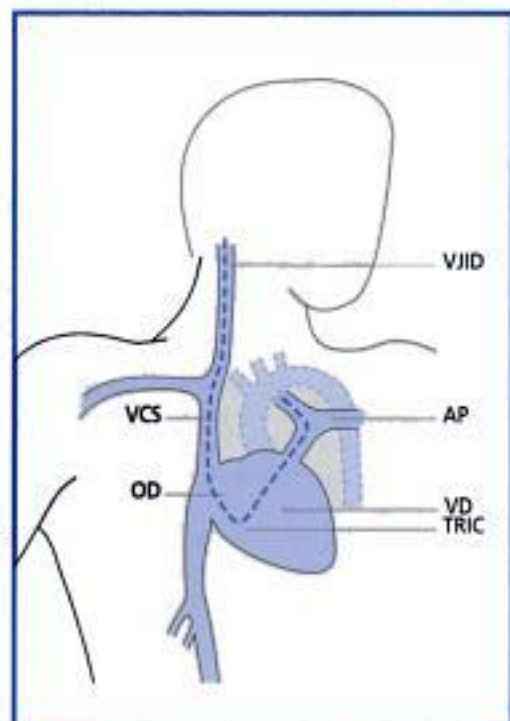


Figure 3.25. Trajet d'une sonde de Swan-Ganz. ►

VJID : veine jugulaire interne droite
VCS : veine cave supérieure
OD : oreillette droite
VD : ventricule droit
TRIC : tricuspidie
AP : artère pulmonaire

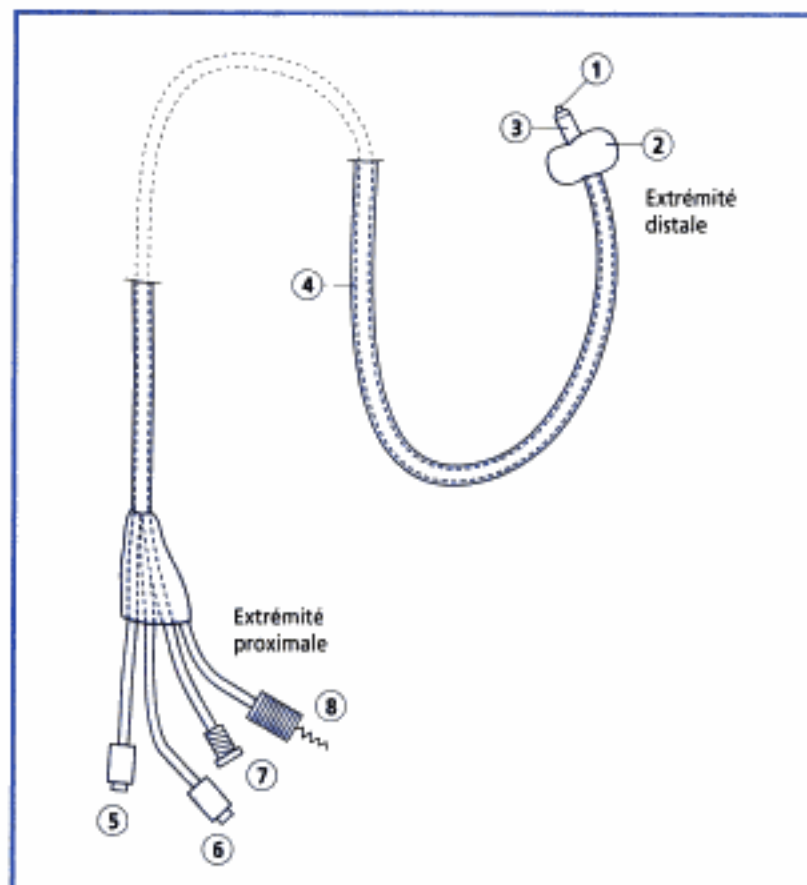


Figure 3.26. Sonde de Swan-Ganz.

- La sonde de Swan-Ganz est un cathéter souple de couleur jaune, mesurant 110 cm de long pour un diamètre de 2,3 mm. L'extrémité distale comporte :
 1. Un orifice distal, qui sert à mesurer les pressions dans l'artère pulmonaire.
 2. Un ballonnet gonflable à l'air, qui sert à positionner la sonde dans l'artère pulmonaire en suivant le flux sanguin, et à mesurer la pression capillaire pulmonaire par l'orifice distal (ballonnet gonflé).
 3. Un capteur de température (thermistance) qui sert pour mesurer le débit cardiaque.
 4. À quinze centimètres en amont de l'orifice distal se trouve l'orifice proximal (4) qui sert à mesurer les pressions dans l'oreillette droite et à injecter du liquide pour la mesure du débit cardiaque. Le canal proximal peut également servir comme voie centrale de perfusion pour des solutés ou des médicaments.
- L'extrémité proximale de la sonde comporte quatre voies :
 5. Entrée du canal distal (artère pulmonaire), généralement de couleur jaune.
 6. Entrée du canal proximal (oreillette droite), de couleur bleue.
 7. Entrée du canal pour gonfler le ballonnet, de couleur rouge, sur lequel s'adapte une seringue à air de 1,5 cc.
 8. Raccord de la thermistance pour l'ordinateur qui fait le calcul du débit cardiaque.

► Mesure du débit cardiaque par méthode non invasive

Le débit cardiaque peut être mesuré de manière fiable et non invasive par échographie-Doppler cardiaque (figure 3.27). On mesure le diamètre de l'anneau aortique (figure 3.27a) et on en calcule la surface par la formule classique :

$$\text{Surface} = \pi \times (\text{diamètre})^2 / 4$$

On enregistre ensuite la courbe des vitesses pendant l'éjection aortique grâce au Doppler (figure 3.27b), l'intégration de cette courbe (faite automatiquement par la machine) permet de calculer le volume éjecté par le ventricule gauche dans l'aorte à chaque systole = volume d'éjection systolique (VES) par la formule suivante :

$$\text{VES (cm}^3\text{)} = \text{intégrale temps-vitesse (ITV)} \times \text{surface de l'anneau}$$

Il suffit ensuite de multiplier ce volume par la fréquence cardiaque pour obtenir le débit cardiaque par la formule suivante :

$$\text{Débit cardiaque (L/min)} = \text{VES} \times \text{fréquence cardiaque}$$

Tableau 3.1 : Valeurs moyennes chez l'adulte concernant les débits, pressions et saturation en oxygène dans les circulations systémique et pulmonaire.

Saturation artérielle en oxygène (S_aO_2)	98 %
PRESSIONS (mmHg)	
Pression moyenne, oreillette droite	5
Pression systolique ventriculaire droite	25
Pression diastolique ventriculaire droite	5
Pression systolique artérielle pulmonaire	25
Pression diastolique artérielle pulmonaire	10
Pression capillaire pulmonaire moyenne	9
Pression systolique ventriculaire gauche	130
Pression diastolique ventriculaire gauche	70
Pression systolique aortique	130
Pression diastolique aortique	70
DÉBITS	
Débit cardiaque	5-6 L/min
Débit cardiaque indexé	3,5 L/min/m ²
VOLUME ET FRACTION D'ÉJECTION VENTRICULAIRE GAUCHE (VG)	
Volume télé diastolique VG indexé	70 mL/m ² *
Volume d'éjection systolique VG indexé	45 mL/m ² *
Fraction d'éjection VG	55-65 %

* Mesures indexées pour mètre carré (m²) de surface corporelle.



Figure 3.27. Mesure du débit cardiaque par Échocardiographie-Doppler.

a. Mesure du diamètre de l'anneau aortique en échocardiographie bidimensionnelle : VG = ventricule gauche, VD = ventricule droit, Ao = aorte, OG = oreillette gauche, D = diamètre de l'anneau aortique.

b. Mesure de l'intégrale temps-vitesse (ITV) du flux d'éjection aortique par Doppler, l'ITV est la surface délimitée par le pointillé.

AUTOMATISME CARDIAQUE

Les contractions du muscle cardiaque sont provoquées par des impulsions électriques régulières. Ces impulsions sont déclenchées par des cellules automatiques, situées dans l'épaisseur du myocarde : les **cellules nodales**.

Les cellules nodales sont polarisées, c'est-à-dire qu'il existe une charge électrique négative à l'extérieur de la cellule. Cette polarisation est liée à la prédominance de l'ion potassium (K^+) à l'intérieur de la cellule, et de l'ion sodium (Na^+) à l'extérieur. À intervalle régulier, la membrane cellulaire devient brusquement perméable, avec entrée massive de sodium et sortie de potassium de la cellule nodale. Ceci provoque une brusque inversion de charge électrique : la dépolarisation (ou potentiel d'action) (figure 3.28).

Cette dépolarisation va suivre les voies de conduction intracardiaques pour aboutir aux cellules myocardiques pour déclencher la contraction des oreillettes puis des ventricules. Les voies de conduction intracardiaques sont réparties selon la disposition suivante (figure 3.21) :

- un centre de commande, le **nœud sinusal** (nœud de Keith et Flack), est situé dans le toit de l'oreillette droite ;
- des voies de conduction diffuses lui font suite dans les parois des oreillettes, jusqu'à la jonction auriculo-ventriculaire ;

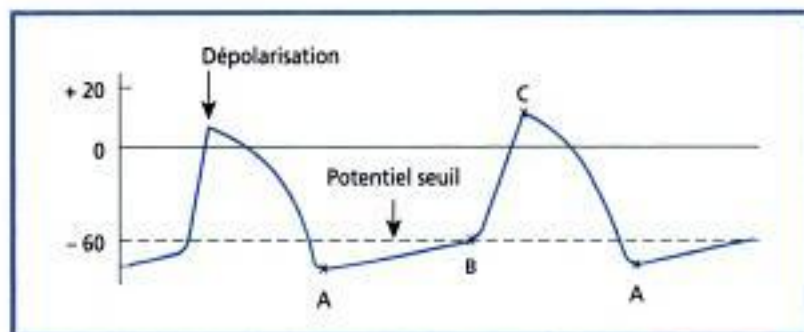


Figure 3.28. Automatisme cardiaque potentiel d'action monophasique.

1. La cellule nodale présente initialement une différence de potentiel négative (point A).
2. De A en B, il existe une dépolarisation lente, automatique qui ramène la différence de potentiel à une valeur seuil (point B).
3. Le potentiel atteignant la valeur seuil (point B) provoque une brusque dépolarisation (de B en C), c'est le potentiel d'action qui va se transmettre le long des voies de conduction du tissu nodal et entraîner la contraction des cellules myocardiques.
4. Repolarisation des cellules nodales de C en A, avant la reprise automatique d'une nouvelle dépolarisation lente.



Pour comprendre

L'ECG d'un patient en rythme sinusal comporte trois « accidents » électriques : l'onde P, le complexe QRS, et l'onde T.

- L'onde P correspond à la dépolarisation des oreillettes.
- Le complexe QRS correspond à la dépolarisation des ventricules. Par définition on appelle onde Q la première onde négative du complexe QRS, l'onde Q n'est pas constante, elle est même absente de la plupart des dérivations chez le sujet sain. L'onde R est la première onde positive du complexe QRS, elle suit l'onde Q lorsque celle-ci est présente. L'onde S est l'onde négative qui suit l'onde R.
- L'onde T correspond à la repolarisation des ventricules.
- À noter que la repolarisation des oreillettes est cachée par le complexe QRS.
- Le temps de conduction électrique entre les oreillettes et les ventricules est représenté par l'espace PR, qu'on mesure du début de l'onde P au début du QRS.

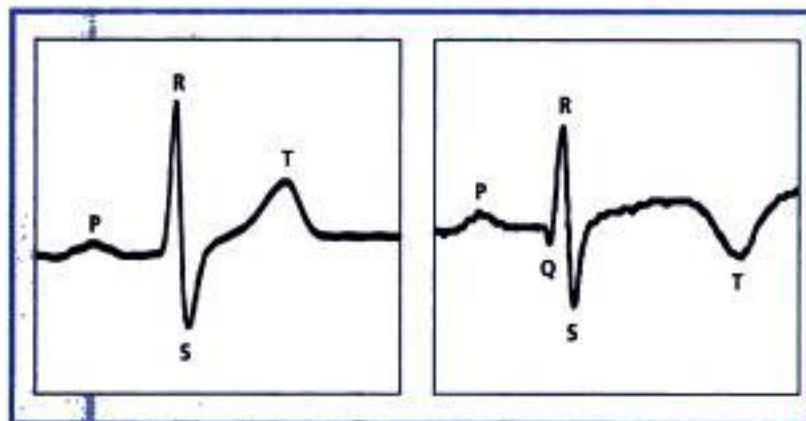


Figure 3.29. Complexe QRS, exemples avec et sans onde Q, noter que l'onde T peut être négative (exemple de droite).

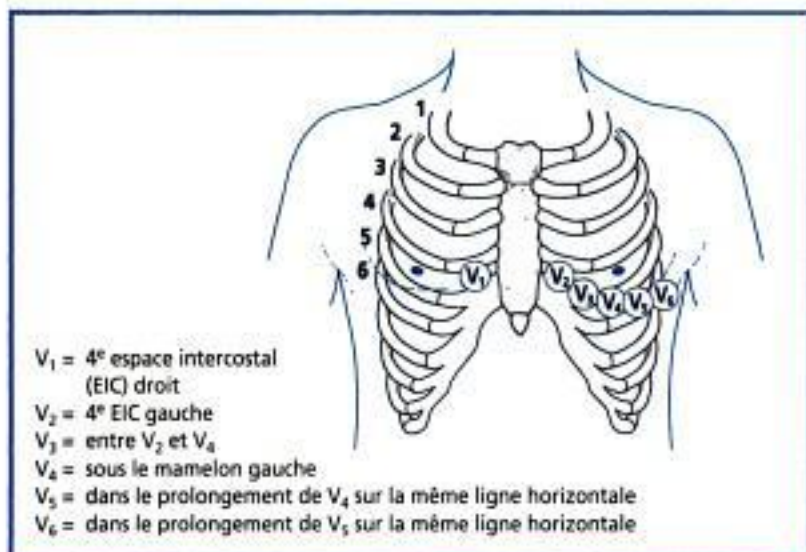


Figure 3.30. Emplacement des électrodes précordiales.

– la zone jonctionnelle comporte le **nœud auriculo-ventriculaire** (nœud de Tawara) qui se poursuit par le **faisceau de His** ;

– le faisceau de His se divise en **deux branches**, droite et gauche, chacune étant destinée au ventricule correspondant. La branche gauche se divise elle-même en deux hémibranches ;

– puis les voies de conduction aboutissent aux **cellules de Purkinje**, qui sont au contact des cellules myocardiques.

À l'état normal, le nœud sinusal assure la commande du rythme cardiaque, les impulsions électriques naissent des cellules nodales et les structures sous-jacentes ont uniquement un rôle de conduction de l'influx électrique. Pour cette raison, le rythme cardiaque physiologique est appelé **rythme sinusal**.

Chaque structure du tissu nodal est néanmoins capable d'envoyer des impulsions automatiques selon son rythme propre, en l'absence de commande par une structure située plus haut. Au fur et à mesure que l'on descend du nœud sinusal vers les ventricules, le rythme propre des différentes structures est de plus en plus lent : la cadence propre du nœud auriculo-ventriculaire est plus lente que celle du nœud sinusal, mais elle est plus rapide que celle des ventricules.

Ainsi, en cas de commande par le nœud auriculo-ventriculaire, on parle de **rythme jonctionnel**, plus lent qu'un rythme sinusal. À titre d'exemple, la fréquence habituelle du rythme sinusal chez l'adulte au repos est de 50 à 80 battements par minute, alors qu'un rythme jonctionnel bat entre 40 et 50 battements minute. Un rythme d'échappement ventriculaire peut descendre à moins de 30 battements par minute.

ENREGISTREMENT DE L'ÉLECTROCARDIOGRAMME

La progression du courant par les voies de conduction intracardiaques et la dépolarisation/repolarisation des cellules myocardiques auriculaires et ventriculaires forment les différents « accidents » enregistrés par l'électrocardiogramme (ECG).

► Les douze dérivations de l'ECG de base

Le tracé de base comporte douze dérivations : six dérivations standard et six dérivations précordiales.



LES DÉRIVATIONS STANDARD

On les nomme : D1, D2, D3, et AVR, AVL, AVF.

On les enregistre grâce aux électrodes fixées à l'extrémité des quatre membres. Ce premier groupe de dérivations enregistre globalement la somme des courants intracardiaques (= somme des vecteurs de dépolarisation).

Les dérivations standard permettent de :

- Préciser le rythme cardiaque (sinusal, rythme d'échappement, tachycardie...) et compter la fréquence cardiaque.
- Détecter une anomalie de conduction à l'étage auriculaire (allongement de l'espace PR) ou ventriculaire (élargissement du QRS).
- De calculer l'axe de QRS, (somme globale des vecteurs de dépolarisation des 2 ventricles).

LES DÉRIVATIONS PRÉCORDIALES

Elles vont de V1 à V6, on les enregistre par les électrodes « ventouses » placées sur la face antérieure du thorax. Ce groupe de dérivations examine la région du ventricule gauche en regard de laquelle elle se trouve : le ventricule gauche est ainsi divisé en « tranches » du septum interventriculaire (V1, à droite) à la paroi latérale (V6, à gauche).

Les dérivations précordiales permettent :

- L'étude de l'activité électrique de chaque région : paroi septale, antérieure, apicale (pointe du ventricule gauche) et latérale.
- Les signes d'ischémie myocardiques sont détectés par l'analyse de la repolarisation ventriculaire : segment ST et onde T.

SYSTÈME NEUROVÉGÉTATIF

► Organisation du système neurovégétatif

Le rôle de la pompe cardiaque est d'assurer un débit sanguin répondant en toutes circonstances aux besoins en oxygène de l'organisme. Au cours d'un effort, les besoins en oxygène de l'organisme augmentent, ce qui nécessite une augmentation de débit cardiaque. La régulation du débit en fonction des besoins est sous la dépendance du **système neurovégétatif**, ou **système nerveux autonome**. Il comporte des centres, situés dans le

Pour comprendre

Territoires ECG

Chaque dérivation précordiale correspond à une « tranche » de ventricule qui serait coupée de la base à la pointe, un peu comme les fuseaux horaires du globe. Chaque paroi du ventricule gauche correspond à un « groupe de tranches », donc un groupe de dérivations ECG. Ces territoires électriques permettent de localiser la topographie et l'étendue d'une souffrance ischémique, en cas de menace d'infarctus par exemple. Les territoires ECG sont listés dans le tableau 3.1. En dehors des douze dérivations de base, il existe six dérivations supplémentaires :

- V7, V8, V9 analysent la paroi inféro-latéro-basale du ventricule gauche (partie la plus haute et la plus à gauche du VG).
- V3R, V4R, et VE analysent le ventricule droit.

Tableau 3.1. Territoires ECG.

Dérivations ECG	Territoire myocardique
D2, D3, AVF	Face inférieure (VG)
V1, V2, V3	Territoire antérieur (VG)
V4	Apex = pointe du VG
V1, V2, V3, V4	Territoire antéro-septo-apical
V5, V6, et D1, VL	Face latérale (VG)
De V1 à V6 + D1 et VL	Territoire antérieur étendu
V7 à V9	Face inféro-latéro-basale du VG
V3R, V4R, VE	Ventricule droit

bulbe rachidien, en ce qui concerne le cœur (figure 3.31).

Ces centres sont reliés aux organes cardio-vasculaires par des voies de conduction **afférentes**, qui **amènent** les informations sur les besoins en oxygène et en débit cardiaque.

Les centres bulbaires répondent par les voies **efférentes**, qui envoient au cœur et aux vaisseaux la réponse en vue d'adapter le débit en fonction des besoins.

On distingue deux systèmes antagonistes au sein du système nerveux autonome :

- un système « **accélérateur** » du cœur, le **sympathique** ;
- un système « **frein** » du cœur, le **parasympathique**.

Le système sympathique augmente le débit cardiaque en cas d'effort ou de stress. En dehors de ces circonstances, le parasympathique freine l'activité cardiaque.

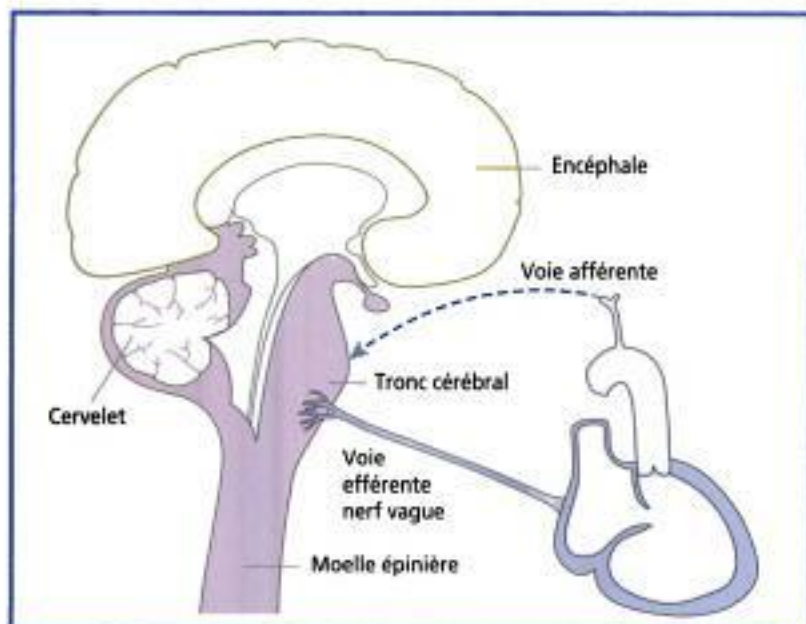


Figure 3.31. L'axe encéphale/moelle épinière, la place du système neurovégétatif et les connexions avec le cœur.

À RETENIR

La tachycardie est une accélération de la fréquence cardiaque au-delà de 100/min.
On parle de bradycardie pour un ralentissement de la fréquence cardiaque en deçà de 50/min.

► Système sympathique

Le système sympathique est sollicité en cas d'augmentation des besoins de l'organisme en débit sanguin lors de l'effort et du stress. Il entraîne une hausse de tous les paramètres : fréquence cardiaque, pression artérielle et débit cardiaque.

Les fibres du système sympathique sont réparties également aux oreillettes et aux ventricules ; elles aboutissent à des récepteurs situés sur les cellules myocardiques et dans les parois vasculaires : les récepteurs alpha (α) et bêta (β).

Les neurotransmetteurs sont des substances chimiques qui se fixent sur les récepteurs α et β , et les stimulent.

À RETENIR

Les effets du système sympathique sur le cœur sont :

- **inotrope positif** : augmentation de la force contractile du myocarde,
- **chronotrope positif** : accélération de la fréquence cardiaque.

Le médiateur du système sympathique est la noradrénaline qui exerce une action sur plusieurs types de récepteurs :

- Les bêta-récepteurs (β -récepteurs) se divisent en récepteurs β_1 cardiaques, et β_2 situés dans la paroi musculaire lisse des artères et des bronches (également au niveau du muscle utérin).
- La stimulation des β_1 -récepteurs entraîne tous les effets du système sympathique sur le cœur : inotrope+, chronotrope+.
- La stimulation des β_2 -récepteurs entraîne une vasodilatation artérielle (augmentation de calibre du vaisseau) et une bronchodilatation.
- Les récepteurs α sont situés dans la paroi musculaire lisse des artères, leur stimulation entraîne une vasoconstriction (diminution de calibre du vaisseau).

► Système parasympathique

Le système parasympathique est le « frein » du cœur. Les voies efférentes du parasympathique destinées au cœur empruntent le trajet du **nerf pneumogastrique** (X^e paire crânienne), qu'on appelle également le **nerf vague**. Pour cette raison, on parle de syndrome vagal, ou d'hypertonie vagale en cas d'hyperstimulation parasympathique.

• L'exemple classique d'hypertonie vagale est la syncope vagale : quand on « tombe dans les pommes » à la suite d'un stress ou d'une douleur violente. La syncope vagale est due à un effondrement de la pression artérielle avec bradycardie, par hyperstimulation vagale.

• Au niveau cardiaque, l'innervation parasympathique est surtout destinée aux oreillettes, au nœud sinusal et au nœud auriculo-ventriculaire.

• Le neurotransmetteur du système parasympathique est l'acétylcholine.

À RETENIR

La stimulation parasympathique au niveau cardiaque entraîne :

- **un effet chronotrope négatif** : ralentissement de la fréquence cardiaque,
- **un effet dromotrope négatif** : ralentissement de la conduction auriculo-ventriculaire.



ADAPTATION À L'EFFORT EN ALTITUDE

L'effort en altitude nécessite deux niveaux d'adaptation du fait de la raréfaction de l'oxygène dans l'air. Le premier niveau est une **adaptation immédiate du système cardio-vasculaire** qui va compenser la baisse des apports en oxygène par une augmentation du débit cardiaque. Cette augmentation de débit est mise en œuvre par le système sympathique décrit au paragraphe précédent. L'augmentation du débit implique forcément une tachycardie et une augmentation des besoins en oxygène du myocarde. De ce fait, le risque de l'altitude chez les patients coronariens non revascu-

larisés est la survenue d'une ischémie myocardique (déstabilisation de l'angor, voire infarctus), du fait de l'augmentation des besoins en oxygène alors que les apports sont diminués en altitude. Un autre risque, indépendant de la présence de lésions coronaires, est la survenue d'un œdème pulmonaire par lésion directe des alvéoles pulmonaires liée à la raréfaction en oxygène de l'air.

Le deuxième niveau est une **adaptation à moyen terme** mise en œuvre par le système endocrinien : la raréfaction en oxygène de l'air est compensée par une sécrétion d'érythropoïétine dont le but est de stimuler la production de globules rouges et d'augmenter la quantité d'hémoglobine afin d'augmenter la captation et le transport d'oxygène.



Système respiratoire

Poumons

La respiration est assurée par les poumons. La trachée et les bronches sont des voies de conduction de l'air inspiré puis expiré. Les alvéoles principale-

ment, mais aussi les bronchioles (à un degré moindre cependant) sont les zones où s'effectuent les échanges gazeux, absorption de l'oxygène et rejet du gaz carbonique. Le poumon assure d'autres fonctions, métaboliques en particulier, qui ne seront pas considérées ici.

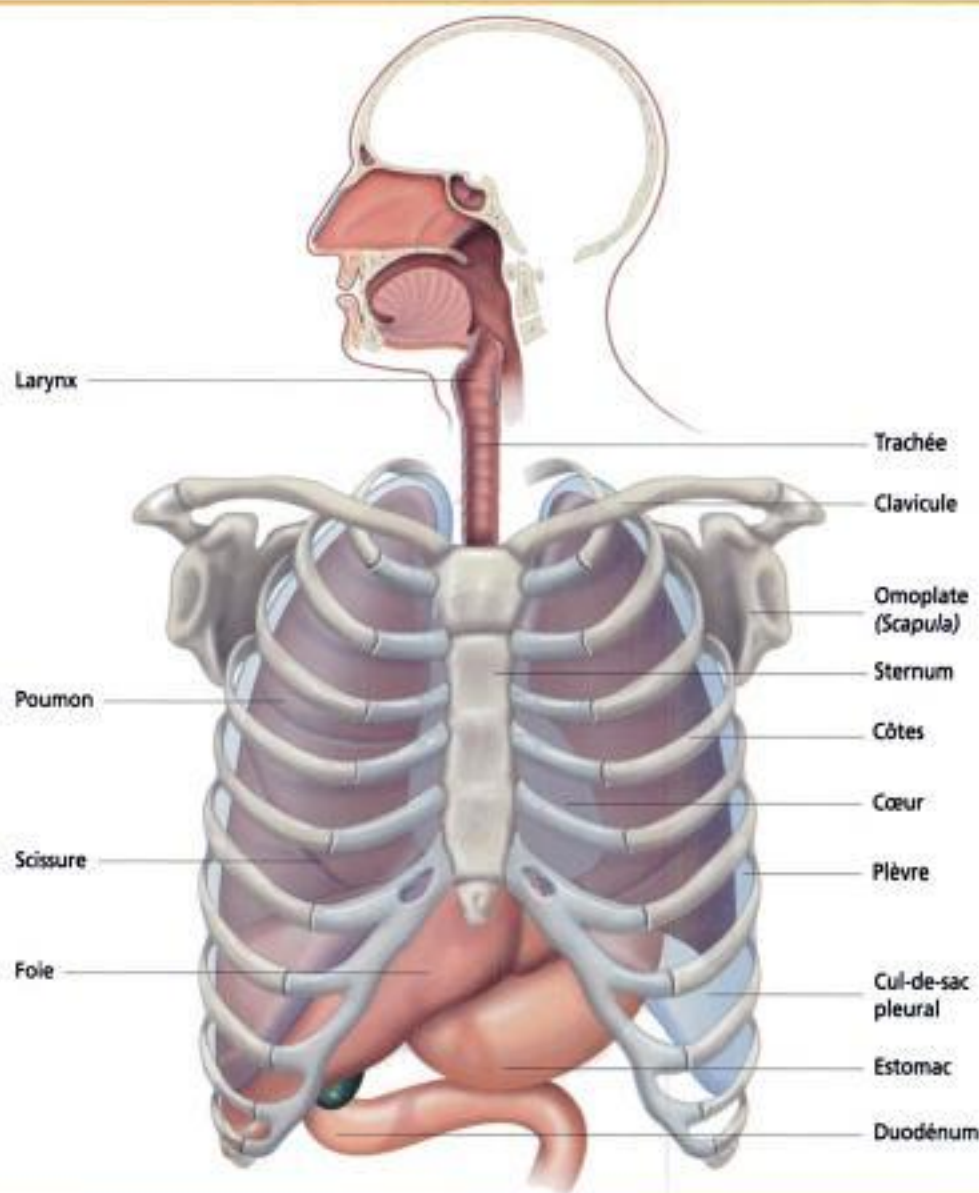


Figure 4.1. La topographie générale des poumons dans la cage thoracique.

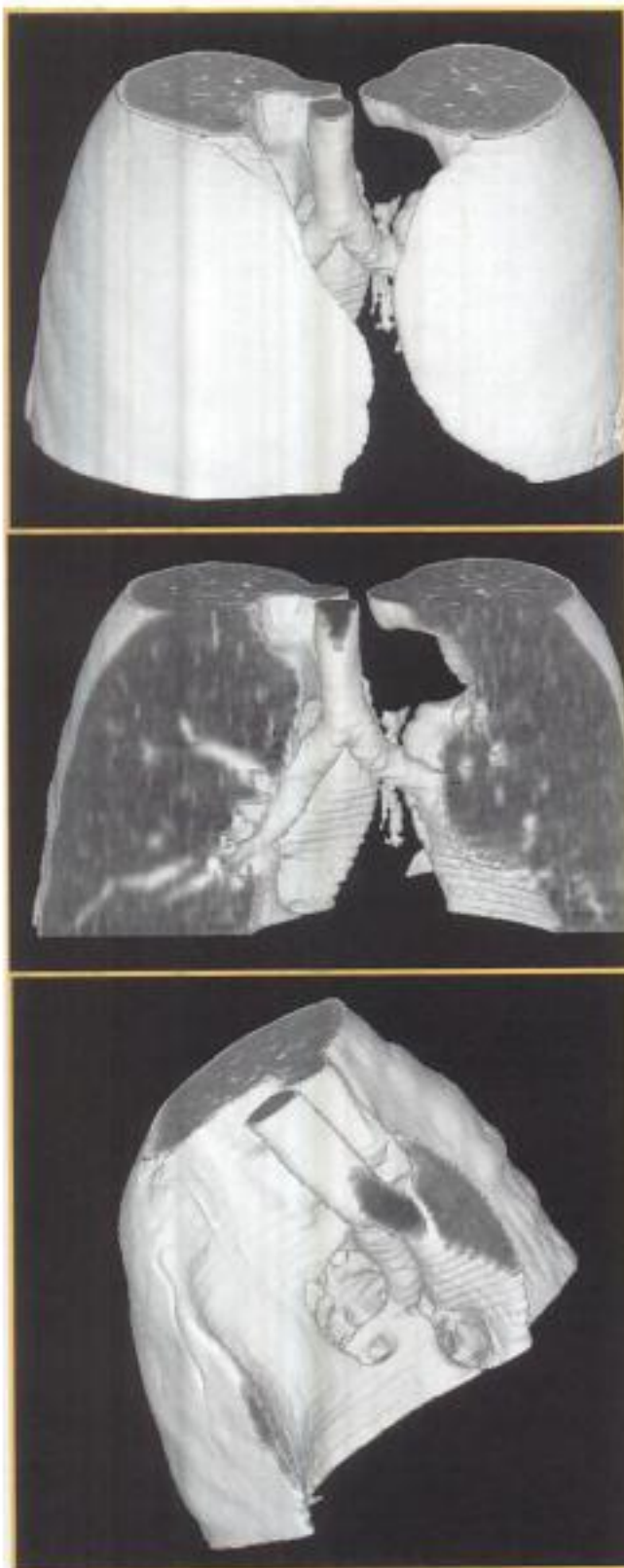


Figure 4.2. La segmentation bronchique et pulmonaire.

ANATOMIE DESCRIPTIVE ET RAPPORTS

- **Situation.** Les poumons sont situés dans la cage thoracique; seule la partie supérieure de la trachée est extrathoracique (figure 4.1). Le diaphragme, muscle strié — concave vers en bas, sépare le thorax de l'abdomen et assure l'essentiel de la force motrice de la respiration; la commande nerveuse passe par les nerfs phréniques.
- **Forme et dimensions** (figure 4.2). Le volume de l'air contenu dans la trachée et les bronches (volume mort) est d'environ 150 mL; celui mobilisé par les poumons au cours d'une inspiration forcée est d'environ 5 litres. Les poumons ont la forme d'une moitié de cône; le sommet a la forme d'un dôme; la base est moulée sur le diaphragme. Chacun des deux poumons est entouré d'une séreuse, la plèvre — cavité virtuelle où règne une pression négative et qui assure le couplage avec les mouvements de la paroi thoracique.
- **Principaux rapports** (figures 4.3, 4.4 et 4.5)
 - Avec les enveloppes : de la superficie du thorax à la profondeur, on retrouve la peau, les côtes (ou les espaces intercostaux, constitués des muscles respiratoires accessoires et des veines, artères et nerfs sous-costaux), la graisse extrapleurale, les deux feuillets de la plèvre (pariétal et viscéral), le parenchyme pulmonaire.
 - Avec les organes : le cou en haut (délimité principalement par les clavicules), l'abdomen en bas et le médiastin en dedans. Les rapports avec les organes du médiastin sont les plus importants à connaître, en particulier les voies de conduction (trachée et bronches d'une part, œsophage d'autre part), les éléments de l'appareil cardio-vasculaire (le cœur, les crosses de l'aorte et de la veine azygos, les veines du cou et des membres supérieurs qui se jettent dans la veine cave supérieure), les nerfs, en particulier le nerf récurrent gauche et les deux nerfs phréniques, les ganglions (figures 4.6 et 4.7) et des organes comme le thymus (surtout chez l'enfant).

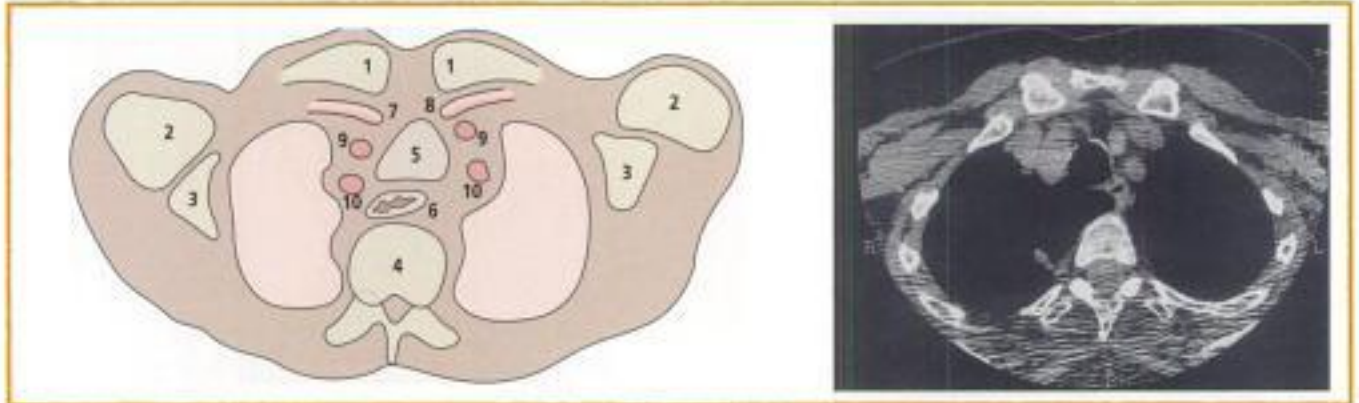


Figure 4.3. Les rapports pulmonaires (région supérieure).

Rapports avec la paroi : 1. extrémités supérieures des clavicules; 2. têtes humérales; 3. omoplates (scapulas); 4. troisième vertèbre dorsale (troisième vertèbre thoracique). Rapport avec le médiastin : 5. trachée; 6. œsophage.

Plan veineux du médiastin : 7. confluent de Pirogoff (Confluent veineux jugulo-sous-clavier); 8. veine sous-clavière gauche (V. sub-clavière gauche). Troncs supra-aortiques : 9. artères carotides primitives droite et gauche (A. carotides communes); 10. artères sous-clavières droite et gauche (A. sub-clavières droite et gauche).

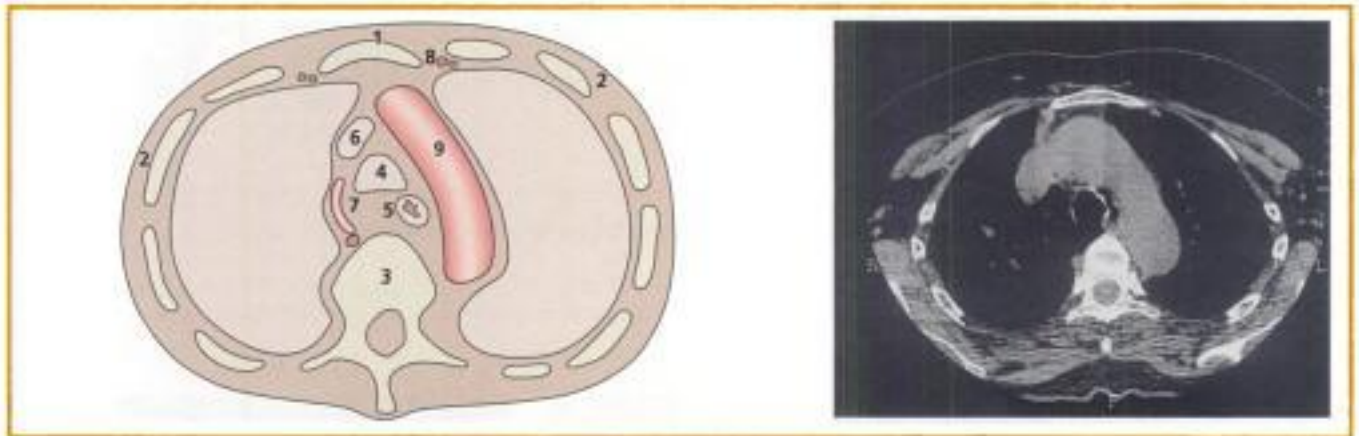


Figure 4.4. Les rapports pulmonaires (région moyenne).

Rapports avec la paroi : 1. sternum; 2. côtes; 3. quatrième vertèbre thoracique.

Rapport avec le médiastin : 4. trachée; 5. œsophage; 6. veine cave supérieure; 7. crosse de l'azygos; 8. vaisseaux mammaires internes; 9. crosse aortique.

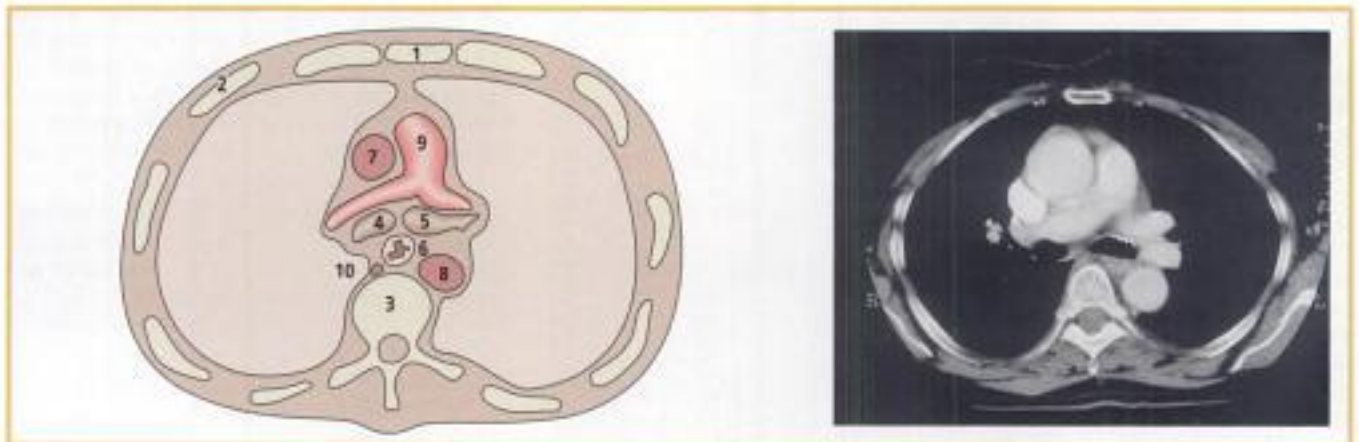


Figure 4.5. Les rapports pulmonaires (région inférieure).

Rapports avec la paroi : 1. sternum; 2. côtes; 3. sixième vertèbre thoracique.

Rapport avec le médiastin : 4. bronche principale droite; 5. bronche principale gauche; 6. œsophage/bronche principale gauche; 7. aorte ascendante; 8. aorte descendante/face antéro-gauche du corps vertébral; 9. tronc de l'artère pulmonaire; 10. veine grand azygos.

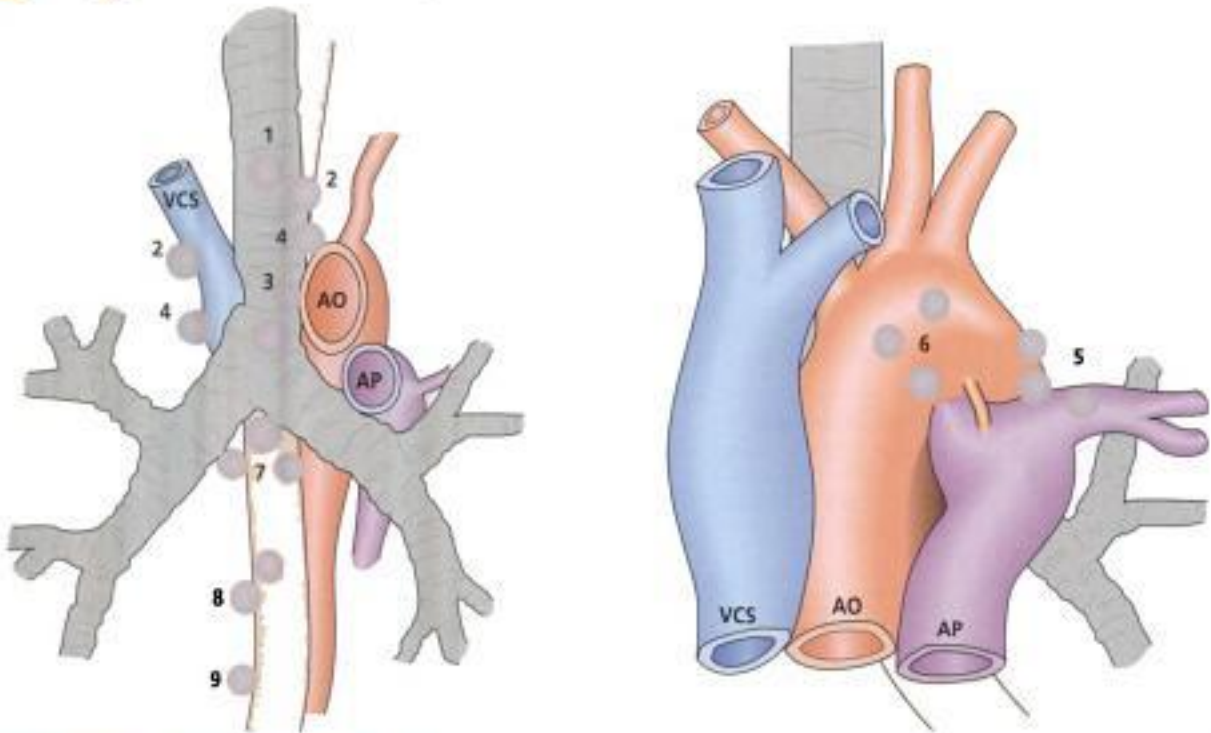


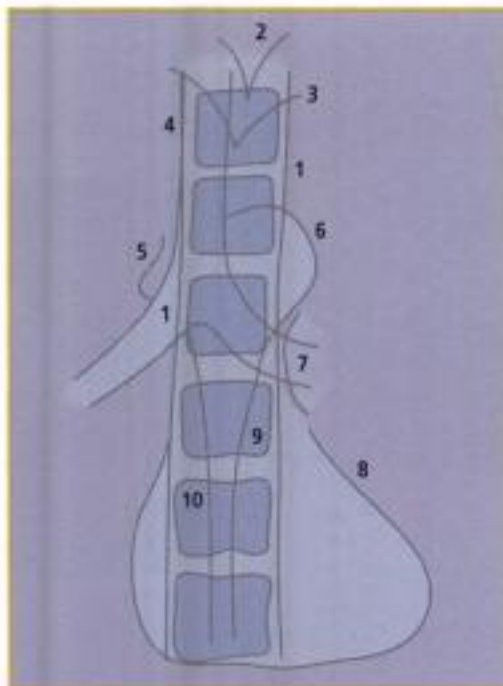
Figure 4.6. Les ganglions (nœuds lymphatiques) du médiastin et leurs rapports avec les autres structures.

AO : aorte; AP : artère pulmonaire; VCS : veine cave supérieure.

Relais ganglionnaires régionaux : 1. médiastinaux supérieurs; 2. paratrachéaux inférieurs; 3. pré- et rétrotrachéal; 4. paratrachéaux inférieurs; 5. aorto-pulmonaires (sous-aortiques); 6. para-aortiques; 7. sous-carinaux; 8. para-œsophagiens; 9. des ligaments triangulaires.

Figure 4.7. Les lignes médiastinales.

1. ligne paravertébrale; 2. réflexion des culs-de-sac costo-médiastinaux antérieurs; 3. réflexion des culs-de-sac costo-médiastinaux postérieurs; 4. ligne paratrachéale; 5. ligne para-azygos; 6. bouton aortique; 7. infundibulum pulmonaire; 8. ventricule gauche; 9. ligne para-aortique; 10. ligne para-œsophagienne; 11. ligne cave inférieure; 12. oreillette droite (atrium droit).



Pour comprendre

La dysphonie est un signe important; elle peut être la conséquence d'une paralysie d'une des deux cordes vocales. Le nerf récurrent gauche a un long trajet intrathoracique, en particulier dans le médiastin; il passe sous la crosse de l'aorte où il est en contact avec les ganglions situés à ce niveau. En cas de métastase ganglionnaire, d'un cancer bronchique par exemple, il peut être comprimé, ce qui peut entraîner une dysphonie.

La dysphonie est parfois le mode de révélation d'un cancer bronchique; il signe l'envahissement médiastinal (compression du nerf récurrent) et constitue un critère de non-opérabilité.



HISTOLOGIE

● La trachée et les bronches (figure 4.8) sont des voies de conduction; il n'y a pas d'échanges gazeux à ce niveau. Leur structure est essentiellement cartilagineuse, solide, pouvant résister aux pressions exercées par une expiration forcée par exemple. L'épithélium trachéobronchique est de

type cylindrique, cilié; les cellules les plus nombreuses sont les cellules épithéliales, mais il existe également des cellules caliciformes qui sécrètent du mucus. Il y a également des glandes sous-muqueuses qui participent à la constitution des sécrétions bronchiques. Les cils vibratiles assurent par leur battement synchrone l'essentiel de la clairance muco-ciliaire.

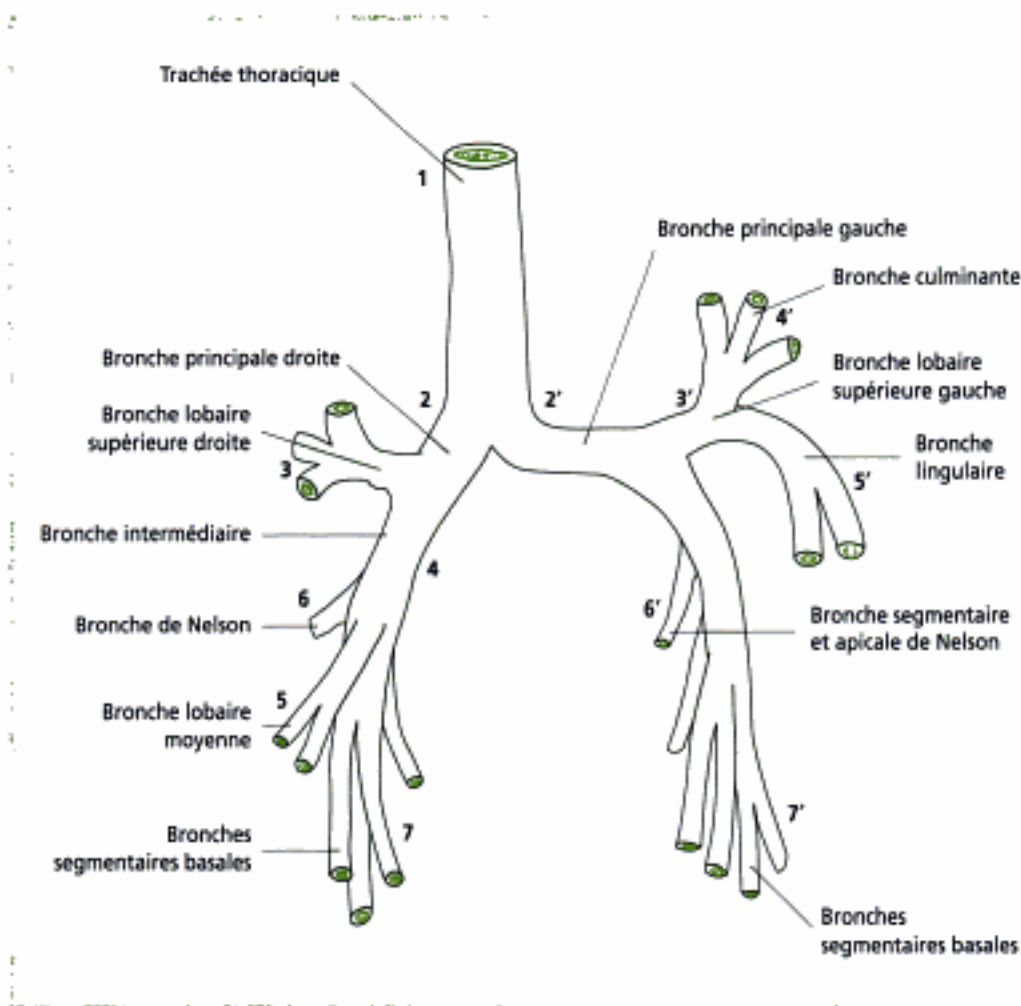


Figure 4.8. Division de l'arbre bronchique : la trachée est en situation médiane, a un trajet extrathoracique puis intrathoracique. Elle se divise en deux bronches principales. À droite, la segmentation se fait en trois branches lobaires; à gauche, il n'y a que deux lobes.

● Les poumons sont un organe d'échange, pour l'oxygène et le gaz carbonique. Le sac alvéolaire est l'unité anatomique de ces échanges; la membrane alvéolo-capillaire sépare l'air du sang; elle est constituée par la paroi alvéolaire (c'est l'épi-

thélium alvéolaire, comprenant en particulier les pneumocytes, et les macrophages), un interstitium et la paroi capillaire (c'est l'endothélium vasculaire) (figure 4.9).

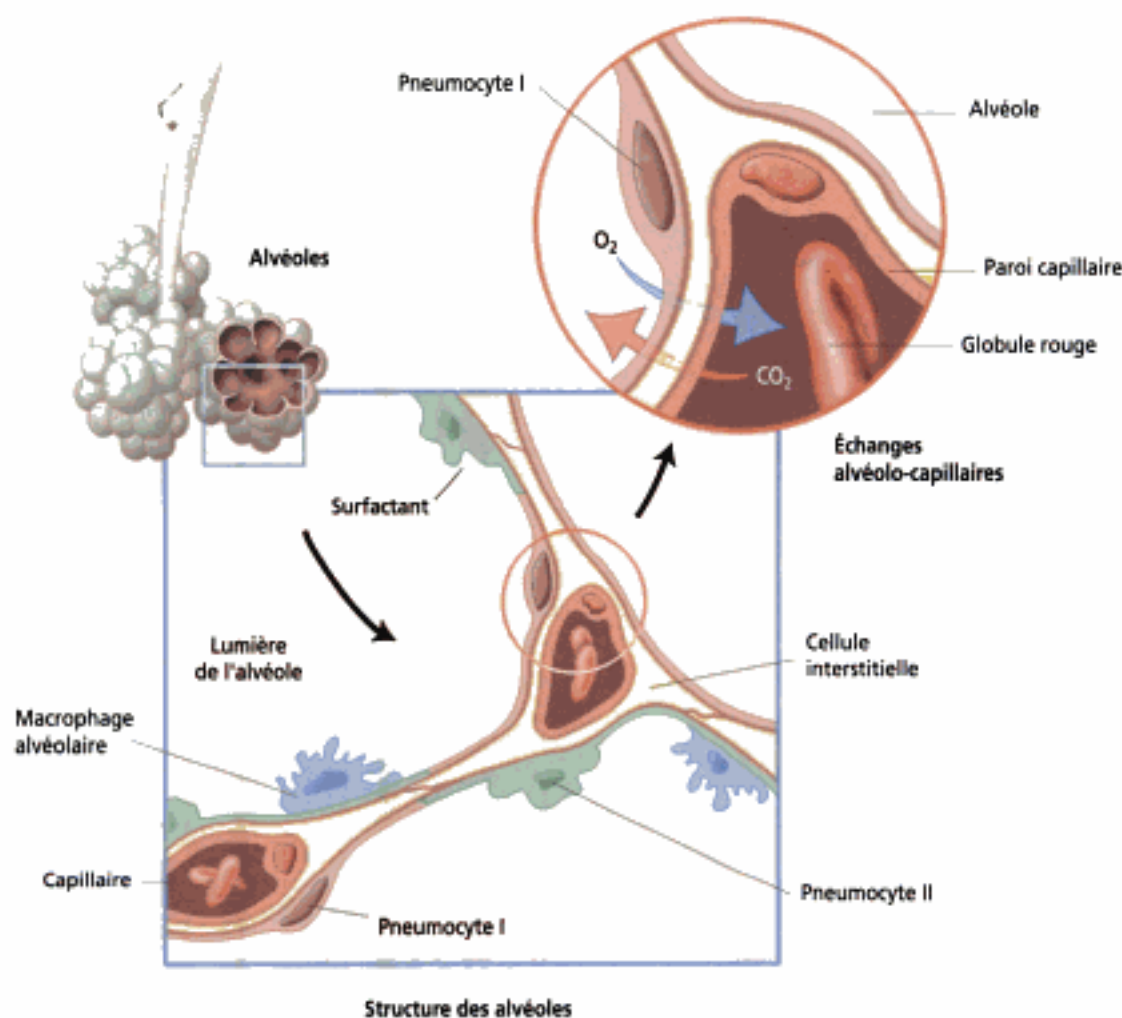


Figure 4.9. L'interstitium pulmonaire.

Échanges gazeux

La fonction principale de la respiration est d'assurer un apport d'oxygène correct et d'éliminer le gaz carbonique. On parle d'insuffisance respiratoire si la PaO_2 est inférieure à 70 mmHg. Cette fonction doit être normale aussi bien au repos qu'à l'effort.

PHYSIOLOGIE DE LA RESPIRATION AU REPOS

Les échanges gazeux se font au niveau des alvéoles pulmonaires. Plusieurs conditions doivent être

réunies pour que le résultat (normoxie, normocapnie) soit satisfaisant : une ventilation efficace pour assurer le renouvellement de l'air alvéolaire, une diffusion suffisante de l'oxygène et du gaz carbonique à travers la membrane alvéolo-capillaire, une perfusion correcte des alvéoles par les capillaires pulmonaires.

► Ventilation

La ventilation est un phénomène mécanique ; alternent une inspiration, active, qui apporte un volume d'air (riche en oxygène et pauvre en gaz carbonique) jusqu'aux alvéoles, et une expiration, en général passive, qui rejette un volume équivalent d'air chargé en gaz carbonique.

Copyrighted material

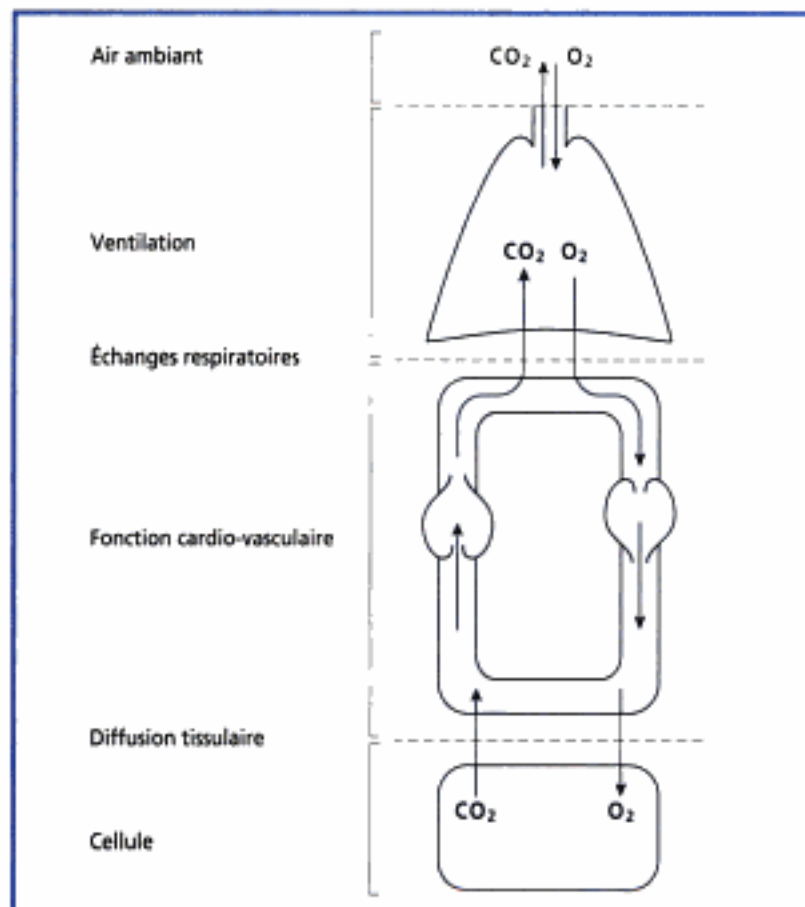
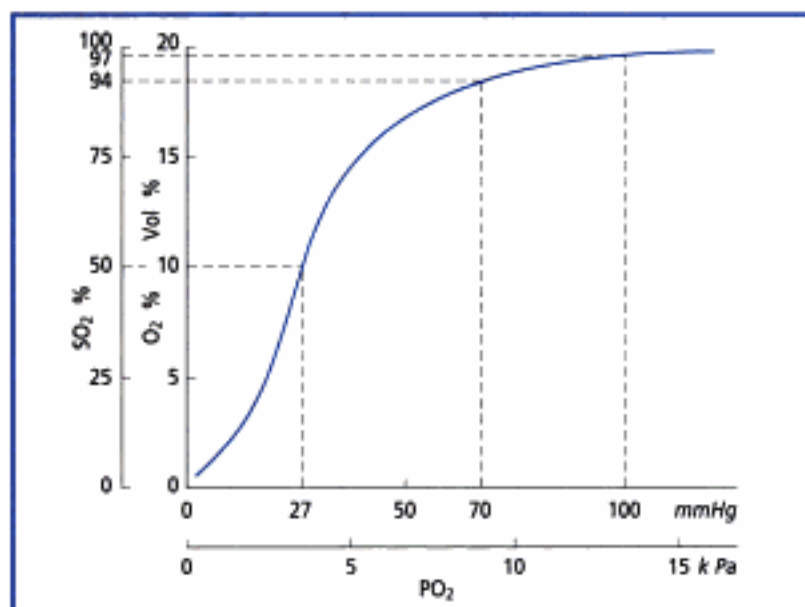


Figure 4.13. Le trajet de l'oxygène.

Figure 4.14. Saturation de l'hémoglobine en oxygène (SO_2) en fonction de la pression partielle en oxygène (PO_2).

La ventilation est un phénomène automatique, régulé essentiellement par l'équilibre gazométrique, sous contrôle volontaire.

► Échanges gazeux

L'air inspiré, au niveau de la mer, contient un volume d'oxygène pour quatre volumes d'azote; la fraction d'oxygène de l'air inspiré (FiO_2) est donc 20%.

Dans l'air alvéolaire, l'oxygène a une pression partielle supérieure à celle du sang; ce rapport est inverse en ce qui concerne le gaz carbonique. Ces conditions sont favorables à la diffusion de ces deux gaz de part et d'autre de la membrane alvéolo-capillaire. La capacité de diffusion du CO_2 est 20 fois supérieure à celle de l'oxygène.

La surface d'échange est également favorable à cette diffusion; elle est d'environ 80 m^2 , pour un nombre total d'alvéoles égal à 350 millions à l'âge adulte (en effet à la naissance ce chiffre est nettement plus bas, ce qui indique une multiplication alvéolaire au cours des premières années de la vie).

La membrane alvéolo-capillaire est homogène dans tout le parenchyme pulmonaire. Il n'en est pas de même pour la ventilation et la perfusion; la répartition de la ventilation dépend essentiellement du mode de la respiration (diaphragmatique ou abdominale, thoracique d'une part, spontanée ou forcée d'autre part); la répartition de la perfusion se fait essentiellement en fonction de la gravité (donc au niveau des bases pulmonaires en position assise, des parties postérieures en position couchée). Une excellente adéquation entre la ventilation et la perfusion alvéolaire (rapport ventilation/perfusion, V/Q) est indispensable à des échanges gazeux normaux.

► Gaz du sang

L'oxygène est transporté de deux manières : d'une part il est dissous dans le plasma; d'autre part il est fixé sur l'hémoglobine (et donc transporté par les globules rouges) (figure 4.13). La courbe de fixation de l'oxygène sur l'hémoglobine (saturation en fonction de la pression partielle d'oxygène PaO_2 , figure 4.14) est particulière et explique pourquoi l'insuffisance respiratoire est définie par une PaO_2 inférieure à 70 mmHg; en effet pour des valeurs inférieures à cette pression, de petites variations de la PaO_2 entraînent de grandes variations de la saturation, ce qui compromet évidemment la respiration cellulaire.



Le gaz carbonique est également transporté dans le sang sous forme dissoute et sous forme combinée, essentiellement en bicarbonates.

Les poumons jouent un rôle fondamental dans la régulation de l'équilibre acidobasique de l'organisme en faisant varier la pression partielle de CO_2 : une hyperventilation favorise l'élimination de gaz carbonique, donc une diminution de la PaCO_2 , et par voie de conséquence une alcalose sanguine.

La mesure des gaz du sang est facile à faire ; le prélèvement se fait au niveau d'une artère (radiale le plus souvent) ; l'appareil de mesure donne rapidement la PaO_2 , la PaCO_2 et le pH.

PHYSIOLOGIE DE LA RESPIRATION LORS DE L'EXERCICE MUSCULAIRE

L'exercice musculaire est une situation physiologique qui fait intervenir la respiration, le système cardio-vasculaire et la cellule musculaire. Le travail musculaire entraîne une augmentation de la consommation d'oxygène (VO_2), ce qui ne peut être assuré que grâce une ventilation accrue et un transport sanguin plus rapide. La VO_2 augmente de manière proportionnelle à l'augmentation de la charge musculaire et atteint un plateau (la VO_2 maximale, qui dépend de l'âge et de la condition physiologique du sujet).

La ventilation s'accroît dans un premier temps par une augmentation du volume courant, puis par une augmentation de la fréquence respiratoire. L'adaptation cardiaque à l'exercice musculaire se fait par une augmentation du débit cardiaque ; la fréquence cardiaque maximale est égale à $220 - \text{âge}$, exprimé en années. La limitation de l'exercice chez le sujet normal est d'origine cardiaque.

L'exercice musculaire entraîne le recrutement d'unités alvéolaires non ventilées et non perfusées

Pour comprendre

Les mécanismes physiopathologiques pouvant expliquer une hypoxémie sont au nombre de cinq :

1. **Une FiO_2 basse** : ce qui se rencontre en altitude par exemple.
2. **Une altération du rapport V/Q** : ce qui est le cas de la bronchite chronique tabagique compliquée d'emphysème (alors que dans l'emphysème primitif, où la destruction pulmonaire concerne en même temps l'alvéole et le capillaire, l'hypoxémie est un signe tardif).
3. **Un effet shunt** : l'embolie pulmonaire en est un exemple typique ; l'obstruction vasculaire alors que la ventilation alvéolaire est normale est responsable d'une hypoxémie qui peut être importante.
4. **Une hypoventilation alvéolaire** (par paralysie musculaire par exemple) : l'augmentation de la pression partielle du CO_2 dans les alvéoles est responsable d'une diminution de la pression partielle d'oxygène et donc d'une hypoxémie.
5. **Un trouble de la diffusion** : les fibroses pulmonaires entraînent un épaississement de la membrane alvéolo-capillaire. L'oxygène diffuse mal ce qui entraîne une hypoxémie, alors que la PaCO_2 est basse en raison de l'hyperventilation qui est elle-même la conséquence de l'hypoxémie.

au repos ; la PaO_2 augmente de manière significative. La PaCO_2 est nettement diminuée.

L'épreuve d'exercice musculaire est réalisée en milieu hospitalier, sur bicyclette ergométrique ou tapis roulant. Elle permet d'évaluer de manière complète l'aptitude d'un sujet.

À RETENIR

Les valeurs suivantes sont données, à titre indicatif, pour un adulte sain :

- Capacité pulmonaire totale = 5 litres
- VEMS = 3 litres
- $\text{PaO}_2 = 80$ à 100 mmHg
(insuffisance respiratoire ≤ 70 mmHg)
- $\text{PaCO}_2 = 38$ à 42 mmHg
(hypoventilation alvéolaire ≥ 45 mmHg)
- pH = $7,38$ à $7,4$.

Système digestif



Anatomie du système digestif

ABDOMEN

À part l'œsophage supérieur, le tube digestif est entièrement localisé dans l'abdomen (figure 5.2). Celui-ci est divisé en neuf régions :

- hypocondres droit et gauche ;
- épigastre ;
- flancs droit et gauche ;
- région ombilicale ;
- fosses iliaques droite et gauche ;
- hypogastre.

On a l'habitude de distinguer deux étages dans l'abdomen que l'on sépare par le mésocôlon transverse (voir le péritoine, figure 5.10) :

- l'étage sus-mésocolique, situé au-dessus du côlon transverse et contenant le foie, le petit épiploon, les voies biliaires, l'estomac, le duodénum, le pancréas et la rate ;
- l'étage sous-mésocolique, situé au-dessous du côlon transverse et contenant l'intestin grêle (avec le méésentère), le côlon et le grand épiploon.

TUBE DIGESTIF

Le tube digestif s'étend de la bouche à l'anus (figure 5.1). Il a pour fonction principale la digestion, c'est-à-dire la transformation des aliments en molécules assimilables par l'organisme. Il comprend plusieurs segments :

- l'œsophage ;
- l'estomac ;
- l'intestin grêle divisé en duodénum, jéjunum et iléon ;
- le côlon ou gros intestin ;
- l'appendice ;
- le rectum ;
- le canal anal.

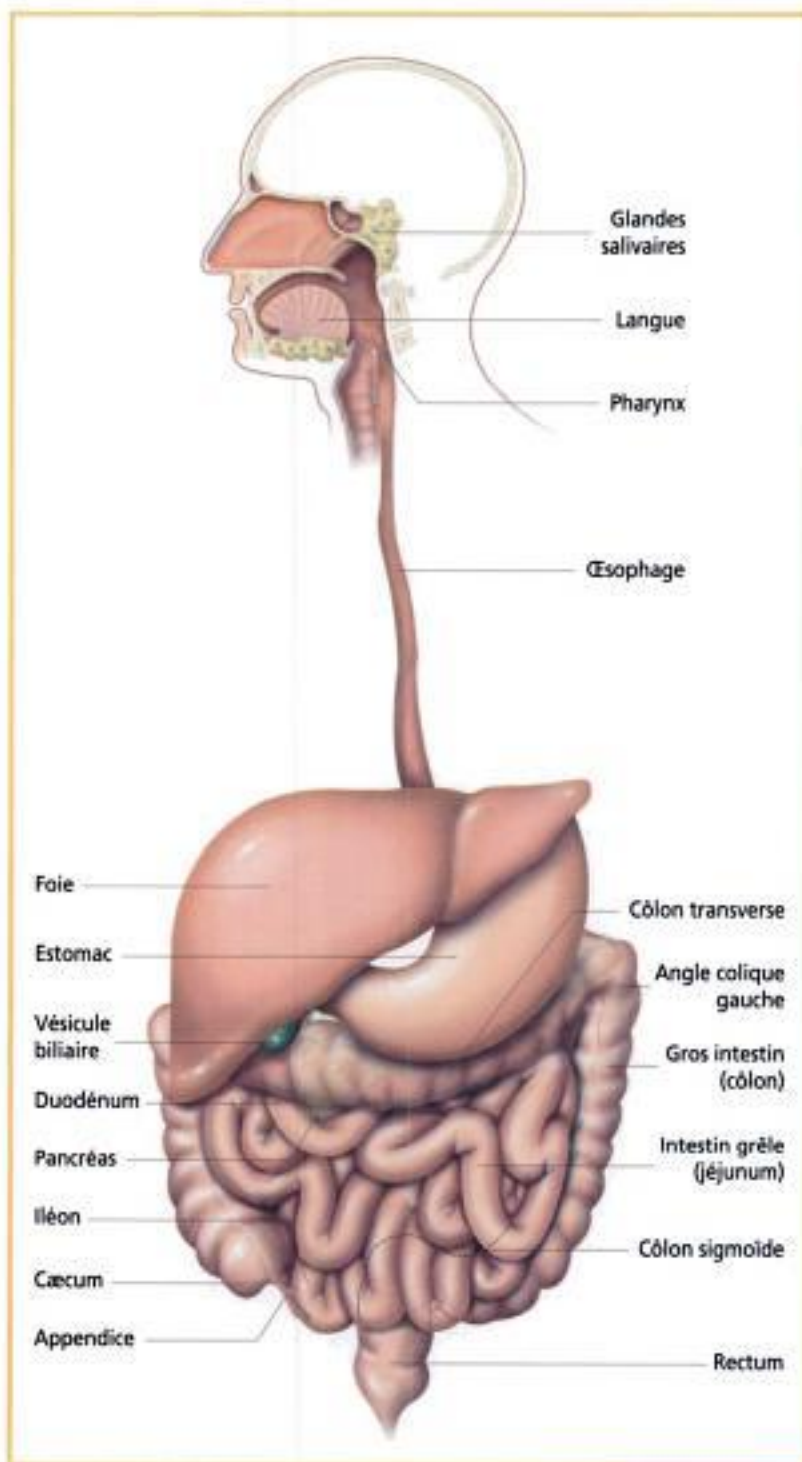


Figure 5.1. Les organes du tube digestif.

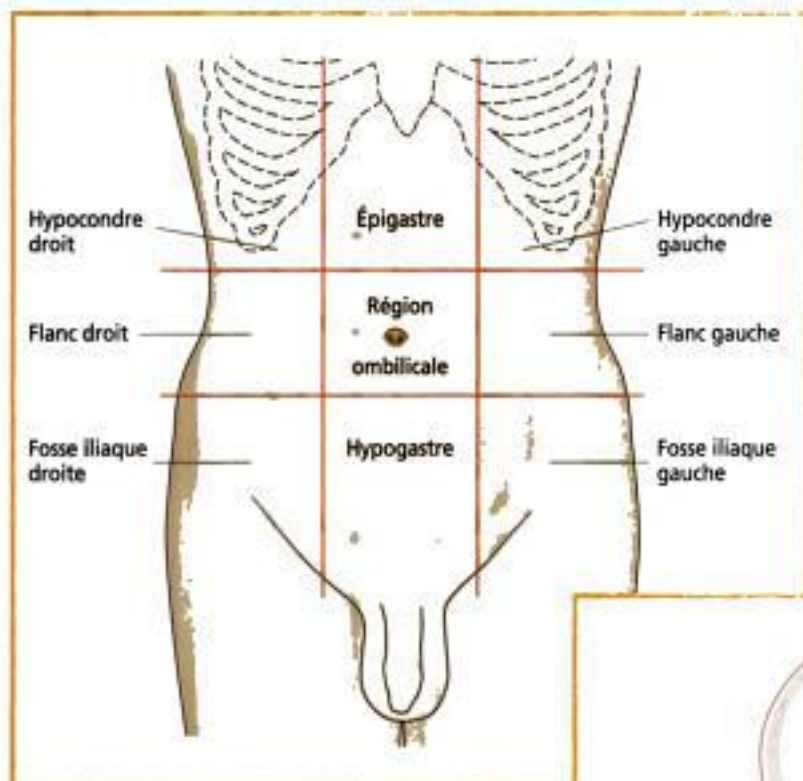


Figure 5.2. La situation générale de l'abdomen.

► Œsophage

Anatomie descriptive et rapports

Forme et dimensions

L'œsophage est un conduit musculo-membraneux qui fait suite au pharynx et se termine à l'estomac (figure 5.3). Il débute au niveau de la 6^e vertèbre cervicale (région appelée bouche de Killian) et s'abouche au cardia au niveau de la 10^e vertèbre dorsale. Il mesure environ 25 cm et traverse successivement :

- la partie inférieure du cou : œsophage cervical (5 cm) ;
- le thorax et le diaphragme : œsophage thoracique (17 cm) ;
- la partie supérieure de l'abdomen : œsophage abdominal (3 cm).

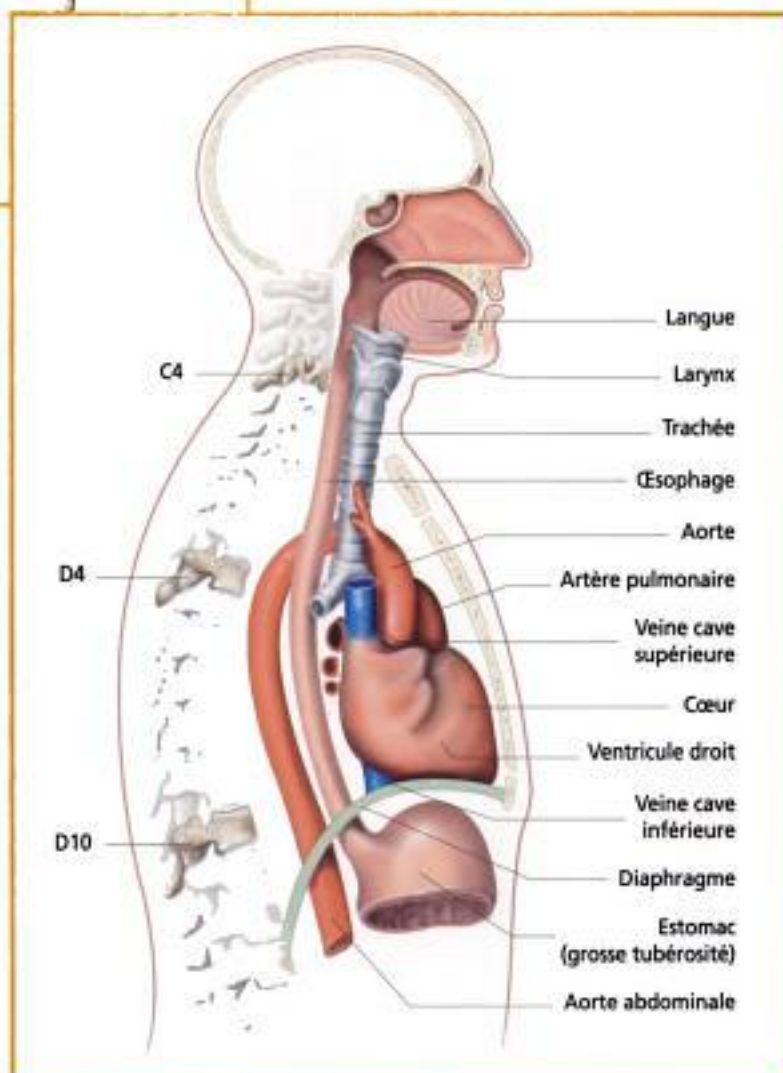


Figure 5.3. L'œsophage.

L'œsophage est aplati d'avant en arrière dans sa portion supérieure puis tend à devenir cylindrique avec un diamètre de 2 à 3 cm. À chacune de ses extrémités se situe un sphincter physiologique. L'œsophage sert à acheminer les aliments de la bouche (pharynx) à l'estomac.

Rapports

Les rapports de l'œsophage sont :

- en avant : en haut la trachée puis, successivement, la bifurcation trachéale et le cœur ;
- en arrière : le rachis ;
- à gauche : l'aorte.

Latéralement, l'œsophage est encadré par les poumons et les plèvres.

L'œsophage traverse le diaphragme au niveau de la 10^e vertèbre dorsale.

Vaisseaux et nerfs

• **Vaisseaux.** Les artères de l'œsophage proviennent dans sa région cervicale de ramifications des carotides et dans sa région thoracique de vaisseaux issus de l'aorte.

Les veines se jettent :

- en haut dans la veine cave supérieure par l'intermédiaire de la veine azygos ;
- en bas dans la veine porte par l'intermédiaire de la veine coronaire stomacique.

Les lymphatiques se drainent :

- en haut vers les ganglions sus-claviculaires ;
- en bas vers les ganglions des chaînes gastriques.

• **Nerfs.** L'innervation est double :

- parasympathique par le nerf pneumogastrique ou vague ;
- sympathique par les nerfs récurrents.

La fonction motrice est essentiellement le fait du nerf pneumogastrique.

Histologie

L'œsophage est composé de cinq couches tissulaires (ou tuniques). De l'extérieur vers l'intérieur de la lumière on trouve :

- l'adventice : tissu conjonctif lâche très vascularisé ;
- la musculature formée de deux couches musculaires ;
- la sous-muqueuse qui participe à l'humidification de la surface interne de l'œsophage ;
- la musculature muqueuse ;
- la muqueuse formée d'un épithélium malpighien (plusieurs couches de cellules) non kératinisé.

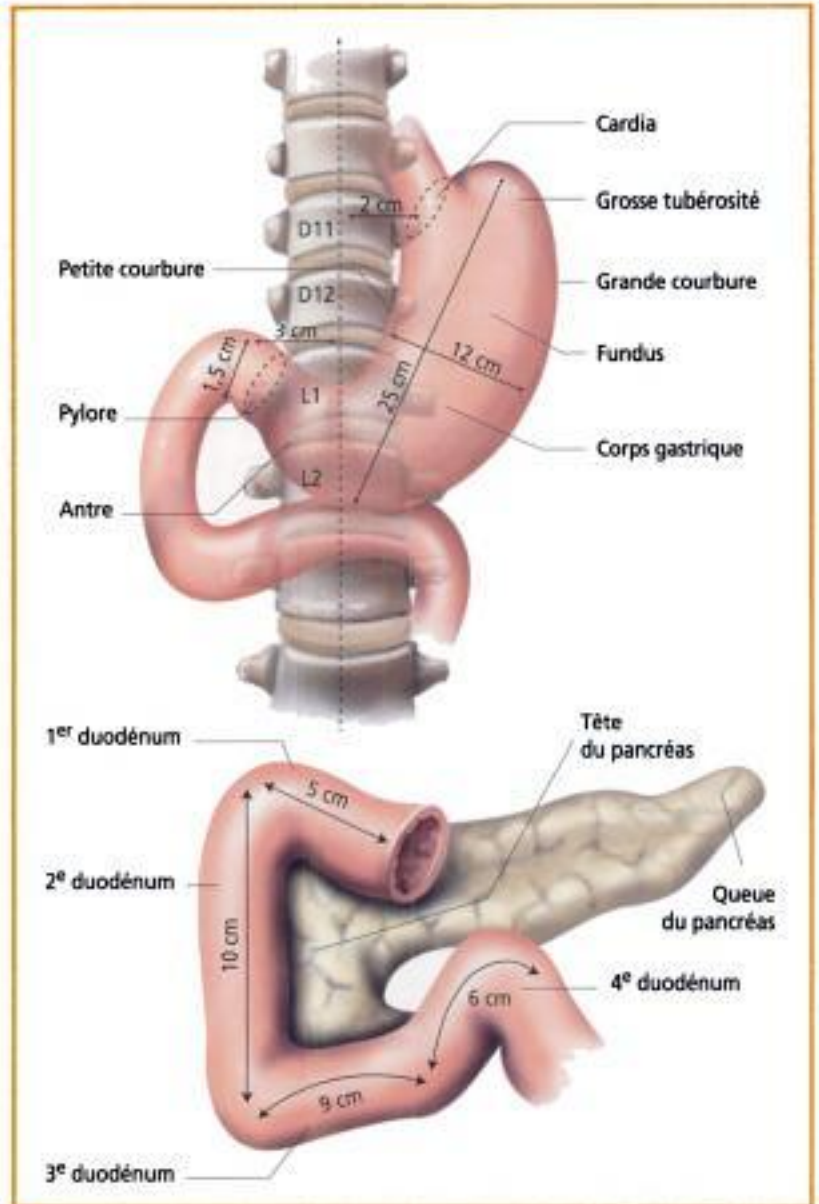


Figure 5.4. Formes et dimensions de l'estomac et du duodénum.

Il existe une frontière microscopique nette entre la muqueuse de l'œsophage (plusieurs couches cellulaires) et de l'estomac (une seule couche cellulaire).

► Estomac

Anatomie descriptive et rapports

Forme et dimensions

L'estomac est localisé dans la partie haute de l'abdomen, à gauche entre la 11^e vertèbre dorsale et la 2^e vertèbre lombaire (figure 5.4). C'est un segment



dilaté du tube digestif situé entre l'œsophage et le duodénum. Sa forme rappelle celle d'un « J » mais est variable selon son état de réplétion.

Il comprend :

- une partie supérieure verticale : la grosse tubérosité ;
- une partie inférieure horizontale : l'antré ;
- entre ces deux parties : le corps ;
- un orifice œsophagien : le cardia, et un orifice duodénal : le pylore ;
- une courbure externe ou grande courbure, et une courbure interne ou petite courbure.

Ses dimensions moyennes sont 25 cm de long, 12 cm de large, 8 cm d'épaisseur et son volume de 1 à 1,5 litre.

Rapports

Les rapports de l'estomac sont :

- en haut : le diaphragme qui sépare l'abdomen du thorax ;
- en bas : le côlon transverse et les anses de l'intestin grêle ;
- en avant : en haut le gril costal (grosse tubérosité) et en bas la paroi abdominale (corps et antré) ;
- en arrière : le pancréas et le duodénum (3^e et 4^e parties) ;
- en dedans : le péritoine (petit épiploon) qui relie la petite courbure à la face inférieure du foie ;
- en dehors : la rate et le péritoine (grand épiploon) qui relie la grande courbure à la rate.

Vaisseaux et nerfs

● **Vaisseaux.** Les artères gastriques constituent trois systèmes qui ont tous pour origine le tronc coeliaque : il s'agit du cercle artériel de la petite courbure, du cercle artériel de la grande courbure et des vaisseaux courts de l'estomac.

Les veines se jettent dans le tronc porte.

Les lymphatiques se drainent dans deux pédicules : vers le hile du foie et vers les ganglions coeliaques.

● **Nerfs.** L'innervation est double :

- parasympathique par le nerf pneumogastrique ou vague ;
- sympathique par les plexus splanchniques.

Histologie

● **Tuniques.** Comme l'œsophage, l'estomac comprend cinq couches tissulaires (ou tuniques) qui sont de l'extérieur vers l'intérieur :

- la séreuse qui correspond au péritoine ;

- la musculuse (trois couches musculaires), puissante, pour permettre le brassage des aliments ;
- la sous-muqueuse, richement vascularisée ;
- la musculuse muqueuse ;
- la muqueuse ; l'épithélium de surface est composé d'une seule couche de cellules, riches en mucus, pour être protégées de l'acidité gastrique. L'épithélium s'invagine pour former des cryptes au fond desquelles se trouvent des glandes qui sécrètent notamment l'acide chlorhydrique.

● **Cellules.** Il existe plusieurs types cellulaires dans l'estomac.

Cellules pariétales. Ce sont les plus nombreuses. Elles sont localisées dans le fundus. Elles sécrètent :

- l'acide chlorhydrique ;
- le facteur intrinsèque.

Cellules principales. Elles sont localisées au niveau du fundus, dans la zone basse des glandes, et sécrètent les enzymes protéolytiques (pepsine). La pepsine, sécrétée sous forme inactive (pepsinogène), est activée par l'abaissement du pH gastrique grâce à l'acide chlorhydrique.

Cellules G. Des cellules endocrines sont retrouvées dans l'antré, les plus nombreuses étant les cellules G. Ces cellules sécrètent une hormone, la gastrine, dont le rôle est de stimuler la sécrétion d'acide chlorhydrique.

Autres cellules. Les cellules situées au sommet des glandes sécrètent du mucus pour protéger la muqueuse gastrique de l'acidité.

► Intestin grêle

Anatomie descriptive et rapports

Forme et dimensions

L'intestin grêle est le segment du tube digestif qui fait suite à l'estomac (figures 5.1 et 5.4). Il se termine par la valvule de Bauhin où commence le côlon. L'intestin grêle mesure environ 3 m. Il est composé de trois segments : un segment fixe, le duodénum, et deux segments mobiles, le jéjunum qui fait suite au duodénum et l'iléon qui se situe après le jéjunum.

Le duodénum est la portion initiale de l'intestin grêle et est composé de quatre portions. C'est un organe profond situé en avant du rachis entre les vertèbres L1 à L4. Il fait suite à l'estomac à partir du pylore et se termine au niveau du jéjunum. Il mesure 20 à 30 cm de longueur et 3 cm de diamètre.

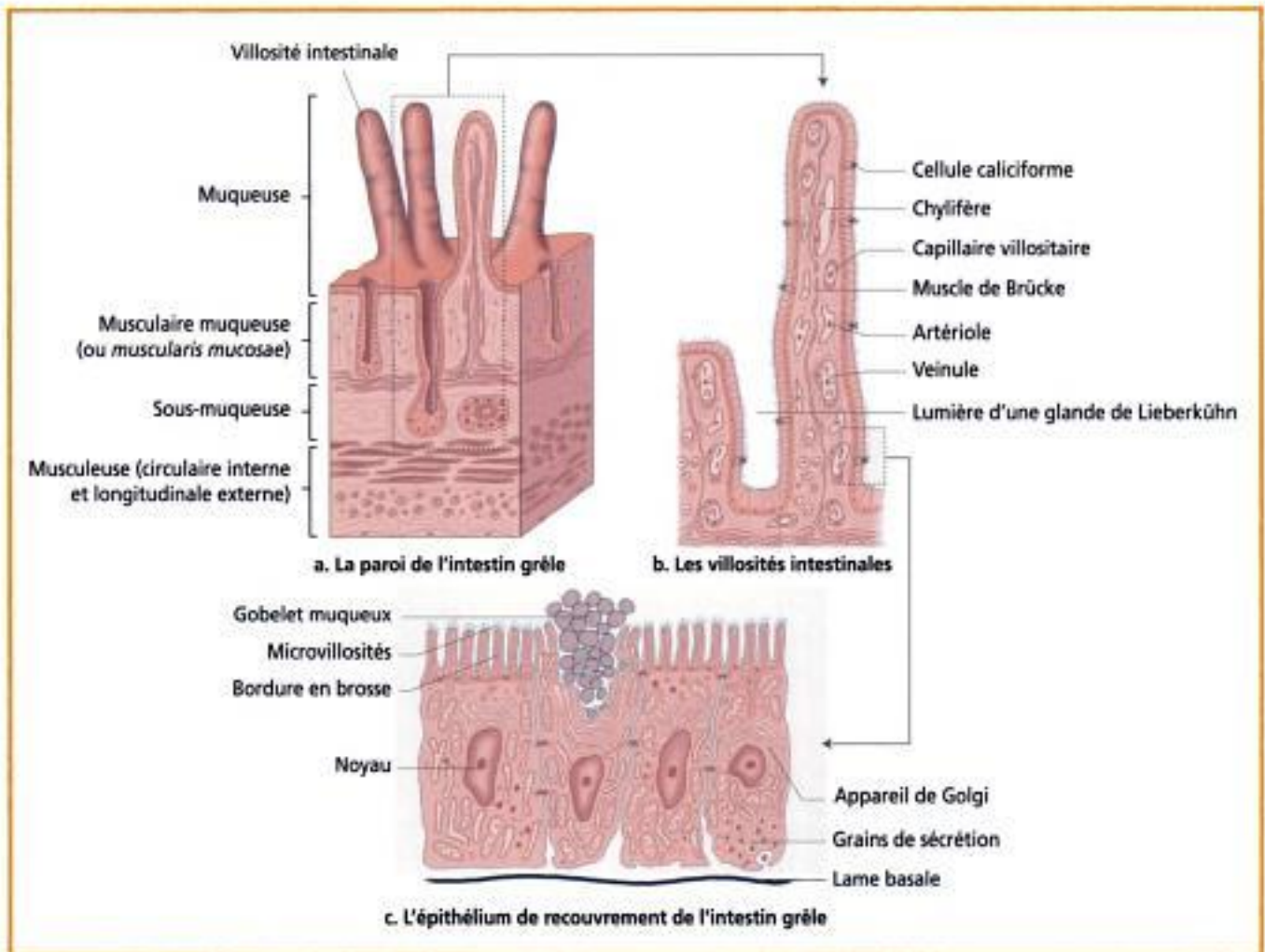


Figure 5.5. Anatomie microscopique de l'intestin grêle.

● **Duodénum.** Le premier duodénum fait suite au pylore. Sa première partie, le bulbe, de forme triangulaire, est suivi par la région postbulbaire qui s'étend jusqu'au genu superius. À ce niveau commence le 2^e duodénum, vertical dans lequel s'abouchent au niveau de la papille le canal cholédoque et le canal de Wirsung. Le 3^e duodénum passe horizontalement devant L3, et le 4^e remonte en haut à gauche derrière l'estomac pour se terminer à l'angle duodéno-jéjunal, également appelé angle de Treitz.

● **Jéjunum et iléon.** Le jéjuno-iléon est un tube lisse qui forme 15 à 16 flexuosités appelées anses intestinales. Schématiquement, les anses intestinales jéjunales sont horizontales et les anses iléales verticales. Le calibre des anses diminue progressivement du jéjunum (3 cm) vers l'iléon

(2 cm). L'ensemble des anses forme une masse qui occupe la partie centrale de l'abdomen, entourée par le cadre colique.

Rapports

● **Duodénum.** Le duodénum et la tête du pancréas forment un bloc homogène tel « le pneu et la jante d'une roue ».

Les rapports du duodénum sont :

- en haut : l'estomac ;
- en bas : le côlon transverse et les anses de l'intestin grêle ;
- en avant : le foie (à droite) et l'estomac (à gauche) ;
- en arrière : l'aorte et la veine cave inférieure ;
- en dedans : le pancréas, le canal cholédoque et le pédicule rénal gauche.



• Jéjunum et iléon

Avec le péritoine. Le jéuno-iléon est situé dans la grande cavité péritonéale et est complètement entouré par le péritoine viscéral. Celui-ci se réfléchit au niveau de l'anse en formant deux feuillets accolés : le **mésentère**. Ces deux feuillets rattachent l'ensemble des anses intestinales à la paroi postérieure de l'abdomen. À ce niveau, le péritoine se réfléchit à nouveau en formant la racine du mésentère : c'est la zone d'accolement du péritoine viscéral au péritoine pariétal. Ainsi, le mésentère a dans l'ensemble la forme d'un éventail avec de nombreux replis au niveau des anses intestinales (figure 5.10).

Avec les organes. Le jéuno-iléon et le mésentère sont situés à l'intérieur du cadre colique. On retrouve donc :

- en haut : le côlon transverse ;
- en bas : le petit bassin avec le rectum, la vessie et, chez la femme, les organes génitaux internes ;
- à droite : le côlon droit ou côlon ascendant ;
- à gauche : le côlon gauche ou côlon descendant ;
- en avant : la paroi abdominale (par l'intermédiaire du péritoine pariétal) ;
- en arrière : la paroi postérieure de l'abdomen, tapissée par le péritoine qui recouvre les gros vaisseaux : aorte, veine cave inférieure, lymphatiques para-aortiques.

Vaisseaux et nerfs

Duodénum

- **Vaisseaux.** Le duodénum est vascularisé par les arcades duodéno-pancréatiques supérieure et inférieure qui s'anastomosent entre elles.

Les veines se jettent dans le tronc porte.

Les lymphatiques aboutissent aux ganglions pré-aortiques.

- **Nerfs.** L'innervation est semblable à celle de l'estomac.

Jéjunum et iléon

- **Vaisseaux.** Les vaisseaux et nerfs du jéuno-iléon forment le pédicule mésentérique supérieur, qui chemine dans le mésentère.

Le jéuno-iléon est vascularisé par l'artère mésentérique supérieure qui est une branche de l'aorte. L'artère mésentérique supérieure se divise en plusieurs branches qui s'anastomosent entre elles en arcades de plus en plus proches de l'anse intes-

tinale. De la dernière arcade, de petits vaisseaux pénètrent dans l'anse intestinale.

Les veines sont satellites des artères et se jettent dans la veine mésentérique supérieure puis dans la veine porte.

Les lymphatiques, très nombreux, forment plusieurs relais et se drainent dans les ganglions para-aortiques.

- **Nerfs.** Les nerfs viennent du plexus solaire.

Histologie (figure 5.5)

- **Tuniques.** L'intestin grêle est composé comme l'estomac et l'œsophage de cinq couches tissulaires. La séreuse, la musculuse (deux couches musculaires), la sous-muqueuse et la musculaire muqueuse sont les mêmes que celles de l'estomac.

- **Cellules.** L'épithélium de la muqueuse est composé d'une seule couche cellulaire. Quatre types de cellules constituent l'épithélium muqueux :

Entérocytes. Les entérocytes représentent 80 % des cellules. Leur fonction est l'absorption des nutriments. La surface des entérocytes est formée de microvillosités (la bordure en brosse). Celles-ci permettent d'augmenter considérablement la surface de contact entre la cellule et les nutriments afin de faciliter leur absorption.

Cellules caliciformes. Les cellules caliciformes (15 %) sécrètent du mucus pour faciliter le glissement du bol alimentaire ;

Cellules endocrines. Les cellules endocrines (les moins nombreuses) sécrètent diverses hormones (sécrétine, polypeptide vasoactif intestinal ou VIP, etc.) qui jouent un rôle dans la digestion.

Cellules de Paneth. Elles ont un rôle dans la défense contre les bactéries intestinales.

Pour comprendre

L'intestin permet l'absorption par l'organisme des nutriments. La surface de contact avec les nutriments doit donc être importante ; il existe donc des structures anatomiques particulières qui lui permettent d'atteindre 100 m² soit 300 fois plus que la surface interne d'un cylindre. Ces structures (figure 5.5) sont :

- les replis transversaux de la muqueuse ou valvules conniventes ;
- les excroissances en doigt de gant de la muqueuse ou villosités intestinales ;
- la bordure en brosse des entérocytes.



► Côlon

Anatomie descriptive et rapports

Forme

Le côlon est un tube de gros calibre, d'où son nom de gros intestin; il assure la continuité du tube digestif entre l'intestin grêle et l'anus par l'intermédiaire, en bas, du rectum (figure 5.6). Dans son ensemble le côlon forme un cadre qui entoure la cavité abdominale et les anses grêles. Sa longueur est de 1 à 1,50 m en moyenne et son calibre diminue du caecum (8 cm) au rectum (4 cm).

Il comprend successivement, dans le sens du flux fécal :

- le caecum;
- le côlon ascendant (à droite);
- le côlon transverse;
- le côlon descendant;
- le côlon sigmoïde.

Puis, suit le rectum, dernière portion du tube digestif, mais qui ne fait pas partie du côlon stricto sensu.

Dimensions

L'intestin grêle s'abouche dans le côlon par l'intermédiaire de la valvule iléo-caecale (ou valvule de Bauhin) sur le bord interne du côlon ascendant à la limite de celui-ci avec le caecum. Le caecum constitue donc un véritable cul-de-sac inférieur du côlon où débouche l'appendice. Le côlon ascendant (ou côlon droit) monte jusqu'à la face inférieure du foie. Là, il se coude à 90° (angle colique droit) et se porte transversalement de droite à gauche jusqu'à la rate : c'est le côlon transverse, surplombant les anses grêles. Après s'être courbé une deuxième fois sous la rate (angle colique gauche), il descend verticalement jusqu'à la fosse iliaque gauche : c'est le côlon descendant (ou côlon gauche). De là, le côlon gagne le petit bassin et le rectum par le côlon iléo-pelvien ou sigmoïde sous forme d'une anse libre à travers la fosse iliaque gauche.

L'ensemble du côlon est fixé à la paroi abdominale par des accrolements qui constituent les mésocôlons contenant les vaisseaux. Les côlons transverse et sigmoïde restent mobiles avec leur propre méso.

Rapports

● **En avant :** dans son ensemble le côlon est situé sous la paroi abdominale occupant les flancs et l'épigastre.

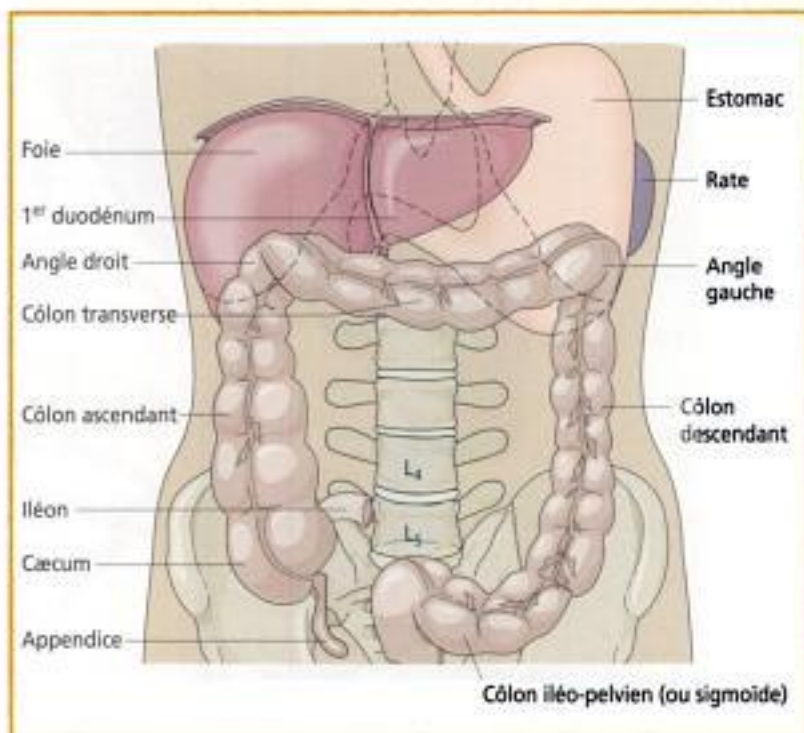


Figure 5.6. Configuration générale du côlon.

● En arrière :

- à droite : le rein droit, la face inférieure du foie et la vésicule biliaire en haut;
- à gauche : le rein gauche, l'estomac et la rate en haut.

Vaisseaux et nerfs

● Vaisseaux

Artères. Les artères du côlon proviennent des artères mésentériques supérieure et inférieure qui se partagent le territoire à irriguer par l'intermédiaire de l'arcade de Riolan. Les branches provenant de la mésentérique supérieure s'étendent en général jusqu'à l'angle colique gauche.

À RETENIR

Le côlon est irrigué par :

- l'artère mésentérique supérieure née directement de l'aorte. Elle irrigue l'intestin grêle et le côlon ascendant et transverse;
- l'artère mésentérique inférieure née également de l'aorte. Elle irrigue le côlon descendant et le rectum.

Ces deux artères s'unissent par l'arcade de Riolan.

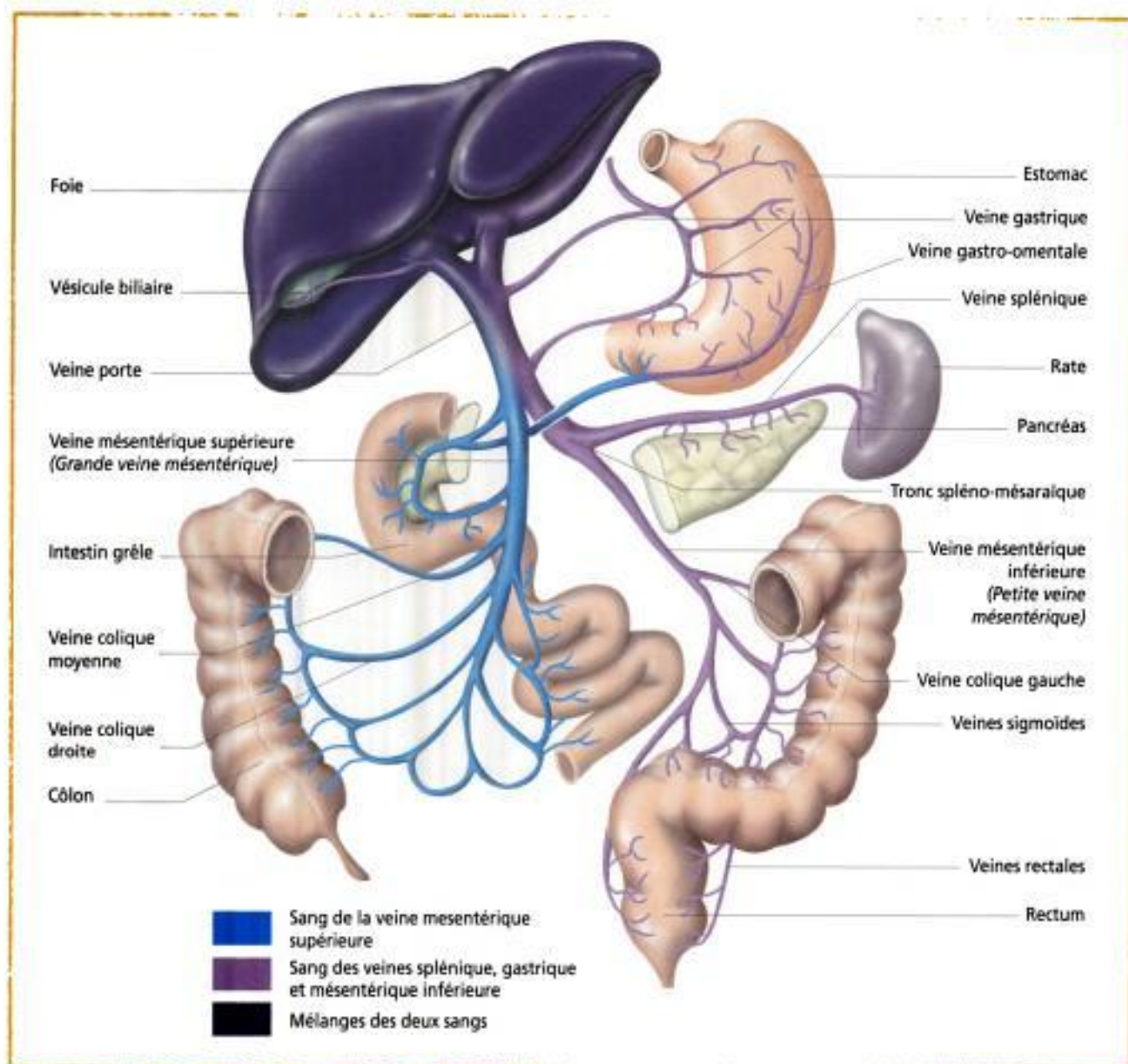


Figure 5.7. La vascularisation des organes du tube digestif sous-diaphragmatique.

Veines. Les veines sont satellites des artères et se rendent à la veine porte par les veines mésentériques supérieure et inférieure.

Lymphatiques. Le drainage se fait par les ganglions paracoliques le long de l'arcade de Riolan et par les ganglions situés le long des artères coliques.

● **Nerfs.** Ils proviennent des plexus mésentériques supérieurs et inférieurs.

► Appendice

Anatomie descriptive et rapports

Forme et dimensions

L'appendice est annexé au cæcum dont il prolonge la paroi interne; il naît à 2-3 cm au-dessous de la valvule iléo-cæcale et mesure 7-8 cm de long pour un diamètre de 7 mm. Sa position par rapport au cæcum est très variable. Il est le plus souvent le

long de la face interne du caecum, mais peut se situer en position pré- ou sous-caecale, voire rétro-caecocolique. L'inflammation de l'appendice entraîne une appendicite ; la localisation variable de l'appendice explique les différentes localisations douloureuses rencontrées au cours de l'appendicite.

Histologie

Comme l'ensemble du tube digestif la paroi du côlon est formée de cinq couches. De l'extérieur à l'intérieur, on trouve la séreuse, la musculuse, la sous-muqueuse, la musculaire muqueuse et la muqueuse. La muqueuse est parcourue de glandes (les cryptes) tapissées en profondeur de cellules caliciformes et en surface essentiellement de cellules cylindriques. Les cellules caliciformes produisent une substance mucoïde qui tapisse la muqueuse et la protège. Les cellules cylindriques permettent la résorption de l'eau.

Le reste des structures ressemble à celles du reste de l'intestin.

► Rectum

Anatomie descriptive et rapports

Formes et dimensions

Le rectum est le segment terminal du tube digestif (figures 5.8 et 5.9). Il fait suite au côlon sigmoïde et se termine à l'anus. Il descend dans le pelvis en avant du sacrum et du coccyx dont il épouse la concavité. Au sommet du coccyx, le rectum se courbe et descend en arrière jusqu'à l'anus par le canal anal. Sa longueur totale est de 10 à 15 cm. Il s'élargit pour former l'ampoule rectale dont le diamètre est très variable selon l'état de réplétion. Le canal anal mesure 2 à 3 cm.

Rapports

Le péritoine tapisse le tiers supérieur du rectum qui forme en avant de celui-ci le cul-de-sac de Douglas ; le reste est tapissé par une gaine fibrocellulaire qui l'entoure jusqu'à la périnée.

Ses rapports sont :

- **En arrière** : la région sacrée et le coccyx.
- **En avant** :
 - chez la femme : l'utérus et le vagin qui séparent le rectum de la vessie ;
 - chez l'homme de haut en bas : la vessie, les vésicules séminales, la prostate.
- **Latéralement** : en phase de réplétion le rectum se rapproche de la paroi latérale pelvienne et des canaux (uretères) et vaisseaux hypogastriques parcourant

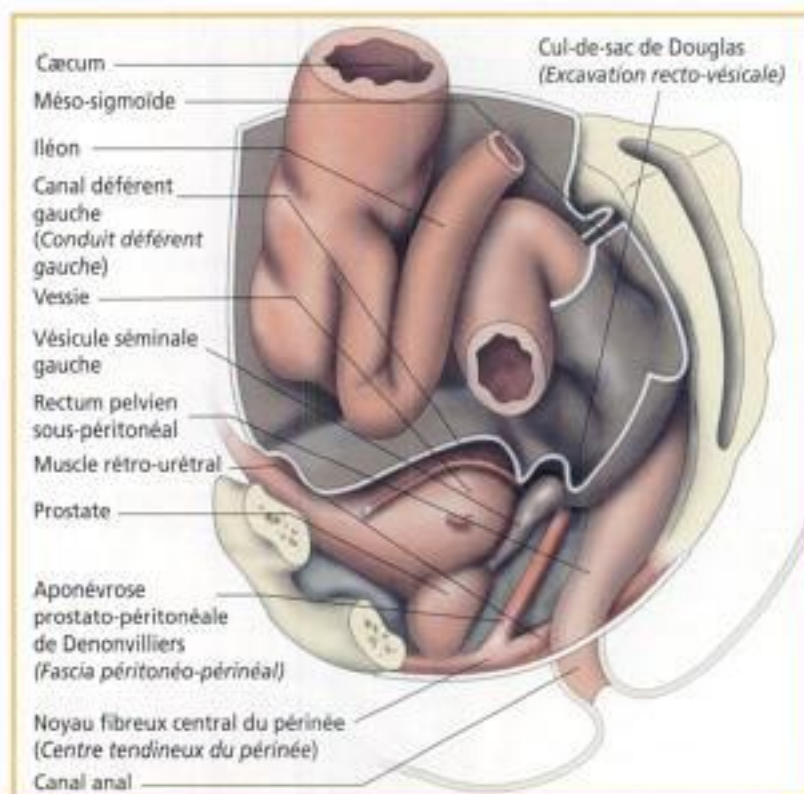


Figure 5.8. Situation générale du rectum chez l'homme.

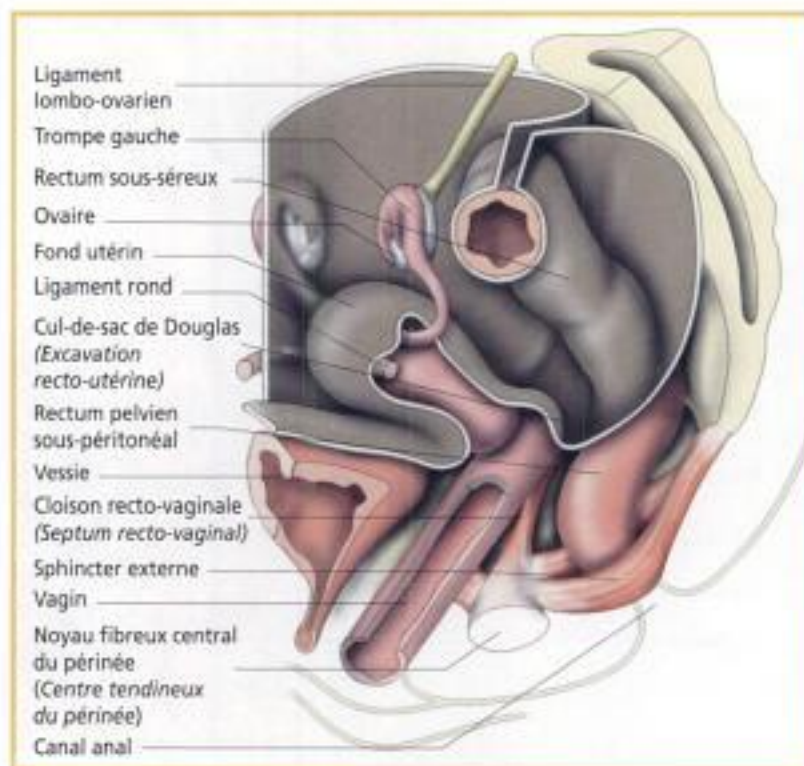


Figure 5.9. Situation générale du rectum chez la femme.



la paroi pelvienne. Chez la femme il entre en contact avec l'ovaire et le pavillon de la trompe.

Vaisseaux et nerfs

• Vaisseaux

Artères. Ce sont les artères hémorroïdales supérieure, moyenne et inférieure.

– L'artère hémorroïdale supérieure est une branche de l'artère mésentérique inférieure.

– Les artères hémorroïdales moyenne et inférieure sont des branches des artères hypogastriques.

Veines. Les veines hémorroïdales sont satellites et dépendantes du même double système vasculaire que les artères.

– Les veines hémorroïdales supérieures se drainent vers la veine mésentérique supérieure puis le système porte.

– Les veines hémorroïdales moyennes et inférieures se drainent vers la veine cave inférieure par l'intermédiaire des veines hypogastriques créant ainsi un système d'anastomose entre le système porte et le système cave au niveau du canal anal.

• **Nerfs.** Le rectum est innervé par des nerfs provenant des plexus mésentériques inférieur, hypogastrique et sacré (nerf anal).

PÉRITOINE

Anatomie descriptive

Le péritoine est une membrane séreuse constituée de deux feuillets (figure 5.10) :

– un feuillet pariétal tapissant les parois de l'abdomen ;

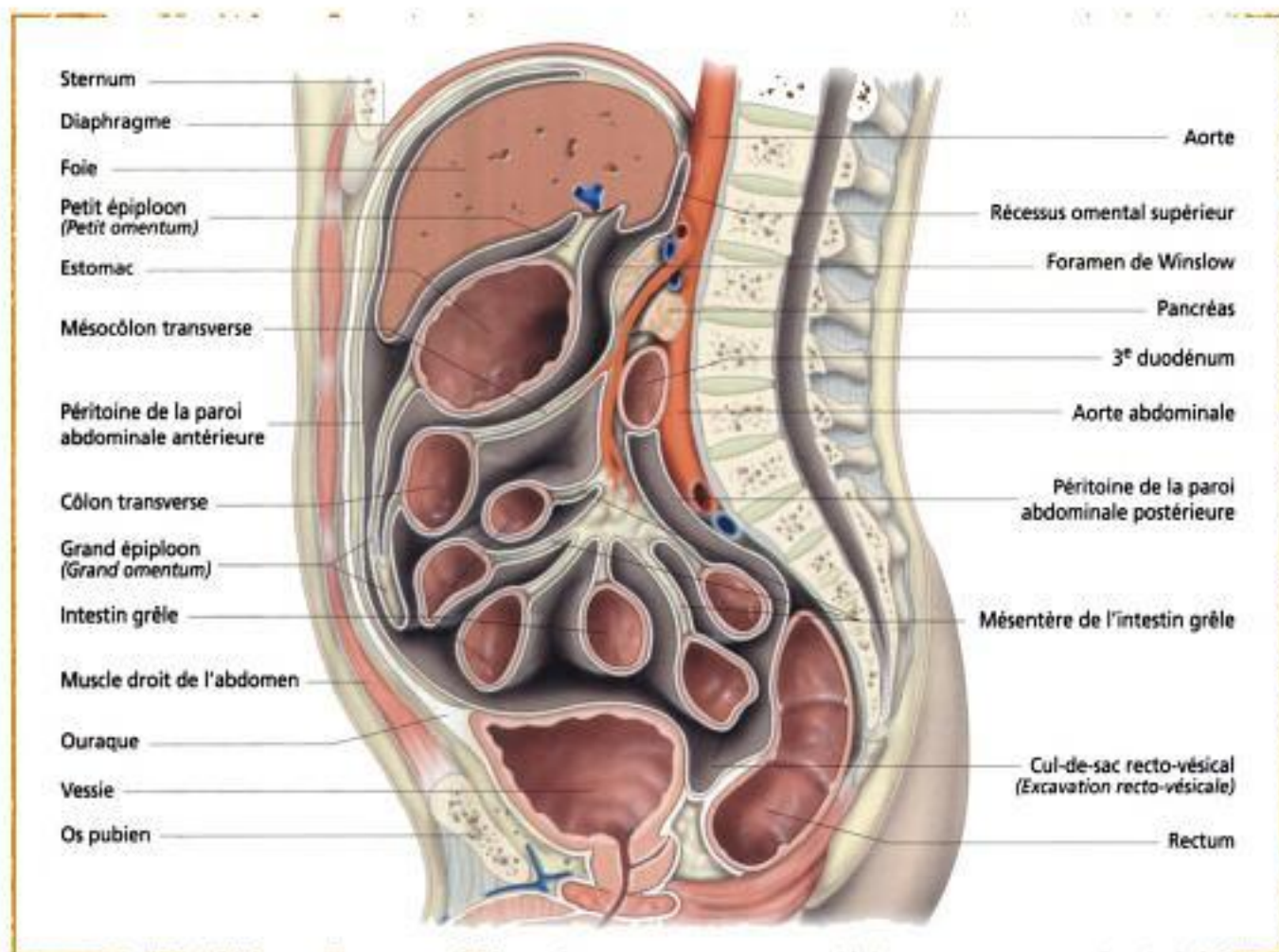


Figure 5.10. Le péritoine.



– un feuillet viscéral accolé aux organes. La surface de recouvrement des organes des viscères abdominaux par le péritoine est variable, en fonction des organes.

Les deux feuillets péritonéaux se continuent l'un avec l'autre au niveau de lignes de réflexion.

Entre les deux feuillets se trouve la cavité péritonéale, espace virtuel, entièrement clos, ne contenant chez l'homme aucun organe et chez la femme seulement les ovaires.

L'introduction de gaz dans la cavité péritonéale, par exemple pour une chirurgie sous laparoscopie, réalise le **pneumopéritoine**.

Le feuillet viscéral et le feuillet pariétal s'accolent pour créer deux types de formation : les mésentres et les épiploons.

Mésentres

Les mésentres sont des sortes de « ligaments viscéraux » qui unissent les organes à la paroi abdominale postérieure en les maintenant en suspension. Ils portent des noms différents en fonction des viscères auxquels ils sont liés :

- mésentère : estomac ;
- mésoduodénum : duodénum ;
- mésentère : jéjuno-iléon ;
- mésocôlon : côlon.

Les mésentres contiennent les pédicules vasculo-nerveux destinés aux organes.

Épiploons

Les épiploons sont des replis péritonéaux qui s'étendent entre deux organes péritonisés et les recouvrent.

Disposition des viscères par rapport au péritoine

On définit différentes régions en fonction de la disposition des organes par rapport au péritoine.

Organes intrapéritonéaux

Il s'agit de l'estomac, du jéjuno-iléon et du côlon transverse. Ces organes sont libres dans le péritoine et reliés à la paroi abdominale postérieure par des mésentres.

Organes extrapéritonéaux

Il s'agit du foie, du pancréas, du duodénum et du côlon droit et gauche. Ces organes sont recouverts

par le péritoine mais accolés directement à la paroi abdominale sans mésentre (ou plutôt avec un mésentre accolé à la paroi abdominale).

Organes rétropéritonéaux

Les reins sont, avec le bloc duodénum-pancréas, les seuls organes rétropéritonéaux. Ils sont situés entre le feuillet pariétal du péritoine et la paroi abdominale.

Pour comprendre

Le péritoine permet aux organes de « coulisser » les uns par rapport aux autres.

Son anatomie particulière est le résultat de modifications structurales et de migrations intervenues au cours de l'embryogenèse.

PANCRÉAS, FOIE, VOIES BILIAIRES

► Pancréas

Anatomie descriptive et rapports

Le pancréas est un organe **profond** et entièrement **rétrorpéritonéal**.

D'une couleur blanc-rosé et de consistance assez ferme, il mesure 15 à 20 cm de long, est aplati d'avant en arrière et pèse 80 g environ. Il est couché horizontalement en avant des gros vaisseaux prévertébraux (aorte, veine porte, etc.) et du rein gauche depuis le 2^e duodénum à droite jusqu'à la rate à gauche.

Il s'agit d'un organe en grande partie **fixe** du fait de son étroite solidarité avec le cadre duodénal et des nombreux vaisseaux qui l'entourent (figure 5.11).

Configuration externe

Le pancréas est une glande dont on distingue quatre parties.

• **La tête** : à droite de la ligne médiane. C'est la partie la plus épaisse et la plus large du pancréas. Elle s'inscrit dans le cadre duodénal et est traversée par le canal cholédoque qui pénètre à mi-hauteur de sa face postérieure.

• **Col ou isthme** : segment intermédiaire entre tête et corps. Au contact du bulbe duodénal en avant et en haut, il est croisé en bas et en arrière par les vaisseaux mésentériques supérieurs.

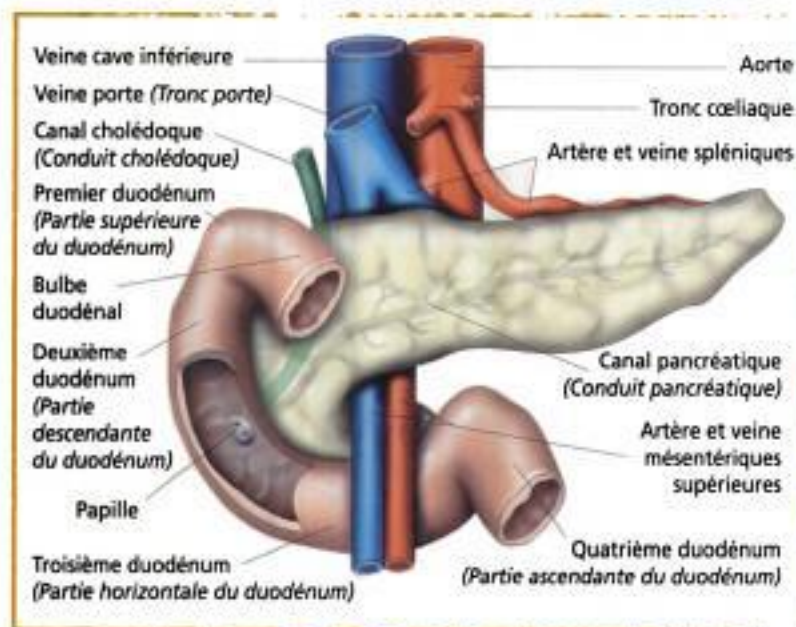


Figure 5.11. Le bloc duodéno-pancréatique.

- **Corps** : allongé transversalement vers la gouttière paravertébrale gauche et rétrogastrique. Il recouvre en arrière les plexus nerveux colique et solaire, la surrénale et le rein gauche. Il est longé en arrière et en haut par l'artère splénique très sinieuse.

- **Queue** : légèrement mobile, constitue l'extrémité gauche du pancréas. Elle se situe dans la région du hile de la rate.

Canaux excréteurs

Les canaux excréteurs de la glande pancréatique constituent un système de drainage permettant l'écoulement de la sécrétion pancréatique dans le duodénum. Ce système comprend des petits canaux secondaires drainant toute la glande et se jetant dans des canaux principaux de plus gros calibre :

- **Le canal de Wirsung**, canal principal, parcourt l'organe dans toute sa longueur. Dans la tête, il bifurque et s'incurve vers le bas et, après s'être joint au canal cholédoque, s'ouvre dans le duodénum dans l'**ampoule de Vater** (figure 5.19). L'abouchement dans le duodénum forme une petite protubérance appelée **papille**.

- **Le canal de Santorini**, voie accessoire, est de plus petit calibre et se termine dans le duodénum environ 2 cm au-dessus et en avant de l'embouchure du Wirsung.

Vaisseaux et nerfs

- **Artères**. Les artères nourricières du pancréas naissent de deux gros troncs viscéraux (nés eux-mêmes directement de l'aorte) :

- le tronc cœliaque ;
- l'artère mésentérique supérieure.

La tête du pancréas est irriguée par les **arcades duodéno-pancréatiques antérieure et postérieure** formées par les branches de l'artère gastroduodénale (venant du tronc cœliaque) et de l'artère pancréatico-duodénale inférieure (venant de l'artère mésentérique supérieure).

Le corps et la queue sont irrigués par des branches de l'artère splénique, de l'artère hépatique (toutes deux nées du tronc cœliaque) et de l'artère mésentérique supérieure (née directement de l'aorte). Elles forment l'**artère pancréatique dorsale** et des **artères pancréatiques transverses**.

- **Veines**. Elles sont satellites des artères et se jettent dans la veine splénique et dans la veine mésentérique supérieure (qui elles-mêmes se jettent dans la veine porte).

- **Canaux lymphatiques**. Ils suivent les trajets des vaisseaux sanguins et gagnent la citerne prévertébrale par l'intermédiaire des **ganglions cœliaques** et des ganglions satellites des vaisseaux mésentériques supérieurs.

- **Nerfs**. L'innervation du pancréas provient du nerf pneumogastrique ou vague (X^e paire crânienne) pour le contingent parasympathique et directement des cornes latérales médullaires pour le contingent orthosympathique (innervation sensitivo-motrice).

Histologie

- **Le pancréas est une glande mixte, à la fois :**

- **exocrine** : sécrétion de substances produites par le pancréas et déversées dans le tube digestif par l'intermédiaire des canaux excréteurs,
- **endocrine** : sécrétion d'hormones libérées directement dans le sang, insuline et glucagon essentiellement.

- **Le pancréas est constitué de lobules** (figure 5.12) Les lobules sont dispersés en grappe autour des canaux excréteurs et contiennent du tissu exocrine (les acini) et du tissu endocrine (les îlots de Langerhans).

- Les **acinis** constituent la masse la plus importante du pancréas. De forme sphérique, ils se composent d'une seule rangée de cellules pyramidales entourant une lumière centrale. Le pôle apical de

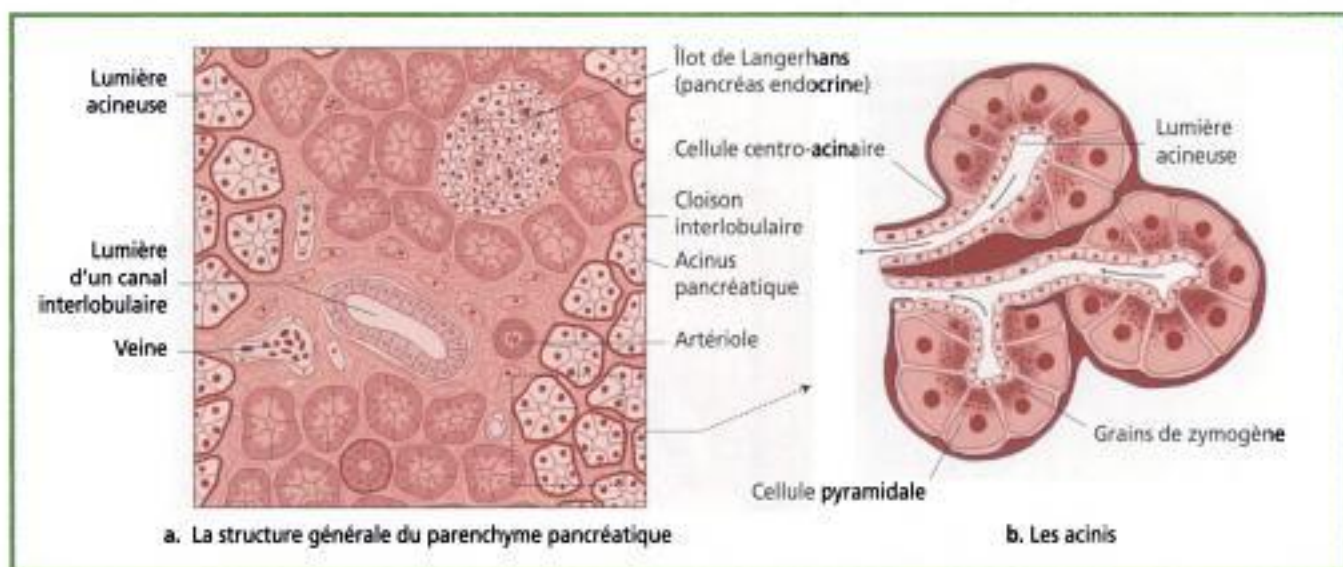


Figure 5.12. Anatomie microscopique du pancréas.

ces cellules est plein de petits granules (zymogènes) contenant les enzymes sécrétées et déversées dans la lumière centrale. Des cellules d'un autre type (centro-acinaires) dispersées en dedans des cellules pyramidales sécrètent l'eau et les bicarbonates.

Dans les espaces interacineux se trouvent les vaisseaux, les lymphatiques et les nerfs, insérés dans du tissu conjonctif.

– Les îlots de Langerhans sont très nombreux et parsèment les lobules, mais ils sont de petite taille et ne représentent que 2 % de la masse pancréatique. Ce sont des amas de petites cellules rondes endocrines de différents types, sécrétant chacune un type hormonal : insuline, glucagon, somatostatine, polypeptide pancréatique... Ils sont richement irrigués par un système artériel.

► Foie

Anatomie descriptive et rapports

Le foie est le viscère le plus volumineux de l'organisme. Son poids est d'environ 1,5 kg et il mesure à peu près 28 cm transversalement, 8 à 10 cm de hauteur et 16 cm d'épaisseur.

Situé à droite, il s'inscrit presque en totalité dans la cage thoracique sous la coupole diaphragmatique. Seul son bord antérieur croise en écharpe le creux épigastrique avant de disparaître sous le gril costal gauche.

Sa couleur est rouge-brun, sa surface est lisse, sa consistance est ferme mais relativement fragile,

et il est entouré d'une fine capsule (capsule de Glisson).

Configuration externe

Le foie a une forme globalement ovoïde. On distingue trois faces.

- La face supérieure, lisse et de forme convexe (formant aussi la face antérieure du foie), s'étend sur la ligne axillaire moyenne de la 5^e à la 10^e côte.
- La face postérieure, verticale, est marquée par la gouttière verticale de la veine cave inférieure qui passe derrière et au contact du foie.

• La face inférieure est marquée par plusieurs dépressions correspondant aux empreintes des viscères avec lesquelles elle rentre en contact (figure 5.13). C'est-à-dire :

- le hile hépatique qui pénètre dans le foie au centre de la face inférieure. Le hile hépatique contient la veine porte, l'artère hépatique et la voie biliaire (canal hépatique) ;
- la veine cave inférieure qui passe en arrière et au contact du foie ;
- la vésicule biliaire qui est plaquée sur la partie antérieure de la face inférieure du foie.

Le bord antérieur du foie correspond à l'union des faces antérieure et inférieure. Il est palpable dans le creux épigastrique et parfois sous le rebord costal droit.

Segmentation hépatique

En théorie, on distingue plusieurs lobes du foie délimités par les repères anatomiques de la face

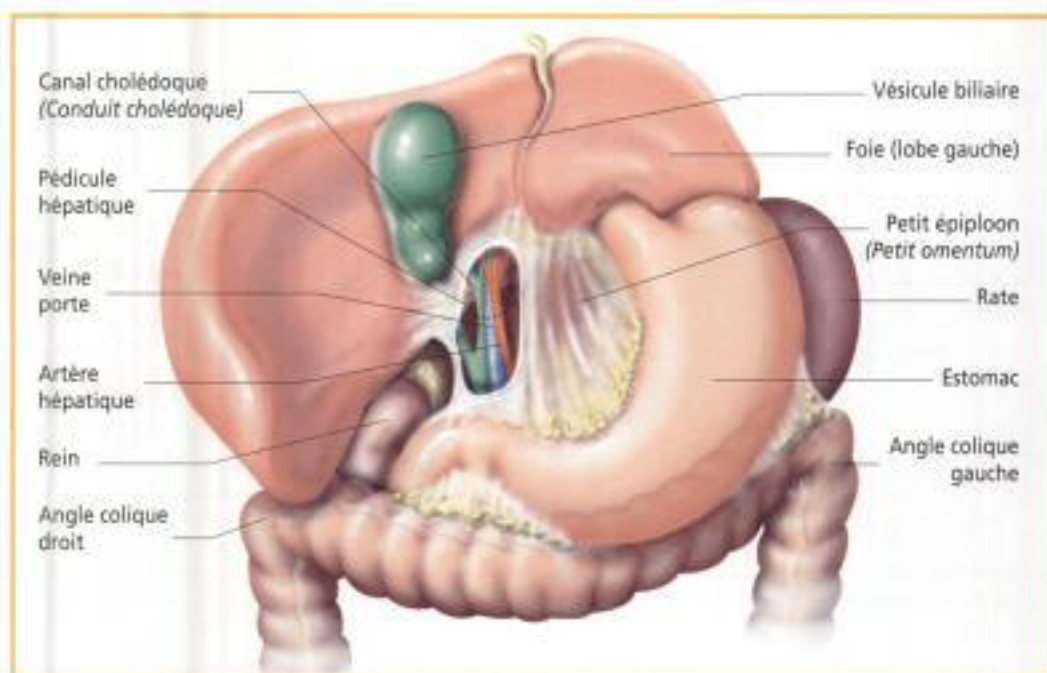


Figure 5.13. Configuration externe et rapports de la face inférieure du foie. Le foie a été soulevé pour dégager la région et présenter sa face inférieure.

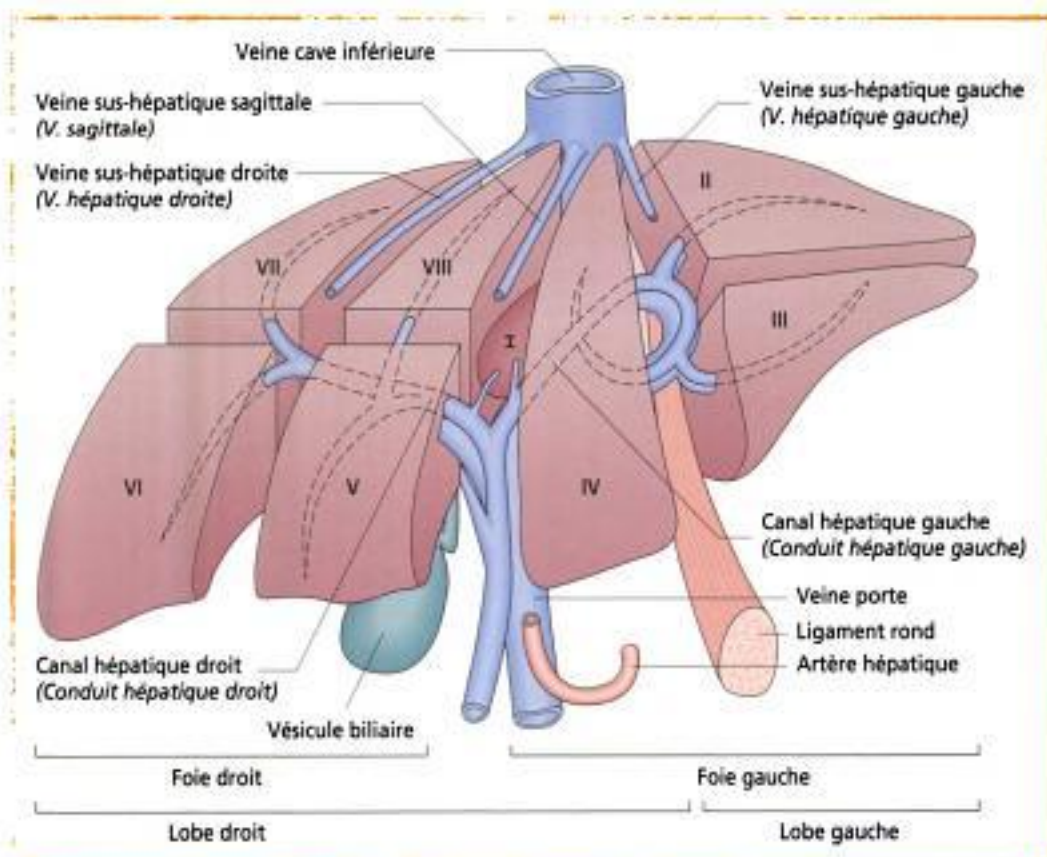


Figure 5.14. Les lobes et les segments hépatiques.



inférieure du foie : le lobe droit, le lobe gauche, le lobe carré et le lobe de Spiegel (les deux premiers étant les plus volumineux) (figure 5.14).

En pratique on préfère, à cette division anatomique du foie, la division chirurgicale en **segments** (correspondant mieux à une topographie fonctionnelle) comprenant huit segments au total (numérotés I à VIII) : quatre à gauche et quatre à droite (figure 5.14). Cette segmentation repose sur la distribution des pédicules vasculaires et biliaire : chaque segment est vascularisé et drainé par un pédicule différent.

Ligaments du foie

Les replis du péritoine tapissent presque totalement le foie et forment les « ligaments » unissant le foie aux organes environnants et assurant sa fixité :

- le ligament arciforme ou suspenseur ;
- le ligament coronaire et les ligaments triangulaires qui relient le foie à la coupole diaphragmatique et la paroi abdominale postérieure ;
- le petit épiploon contenant le pédicule hépatique (artère hépatique, veine porte, voie biliaire) dans son bord libre qui relie le foie à l'estomac et au duodénum.

Rapports

- **La face supérieure** est en rapport avec le diaphragme et, par son intermédiaire, avec les organes intrathoraciques (plèvre, poumon, péricarde, cœur).
- **La face postérieure** est en rapport avec : le pôle supérieur du rein (et de la surrénale) à droite ; la veine cave inférieure, le rachis et l'aorte au milieu ; l'œsophage à gauche.
- **La face inférieure** est en rapport avec : à droite d'arrière en avant, la face antérieure du pôle supérieur du rein, le duodénum (genu superius) et l'angle colique droit ; et à gauche l'œsophage abdominal et la grosse tubérosité gastrique. La région du centre est occupée par le hile du foie.

Vaisseaux et nerfs

Le foie est un organe très richement vascularisé : le débit sanguin hépatique représente 1/5^e du débit cardiaque (soit 1 L/min).

La vascularisation du foie est très particulière, car le sang arrive à la fois par une artère (artère hépatique) et une veine (veine porte). Le drainage est classique : il se fait par des veines (veines sus-hépatiques) qui se jettent dans les cavités cardiaques droites par l'intermédiaire de la veine cave inférieure.

Veine porte

La veine porte est le tronc qui apporte au foie le sang veineux de toutes les parties sous-diaphragmatiques du tube digestif, de la rate et du pancréas (figure 5.15). Le débit sanguin apporté par la veine porte représente 75 % du sang total délivré au foie.

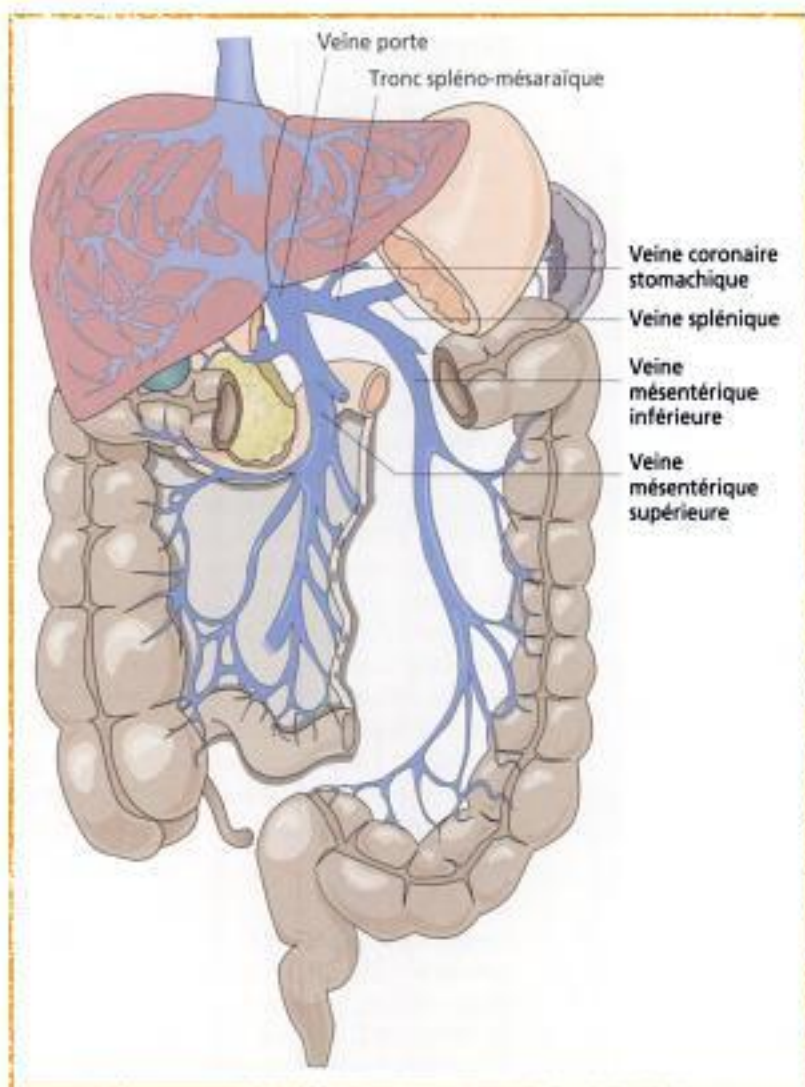


Figure 5.15. La veine porte et le système porte.

Il s'agit d'une grosse veine de 15 à 20 mm de diamètre et de 8 cm de longueur, qui passe derrière la tête du pancréas, en avant de la veine cave inférieure, et arrive au foie au niveau du hile.

Elle est formée par la réunion de :

- la **veine mésentérique supérieure**, qui draine le sang veineux provenant de l'intestin grêle, du côlon droit et transverse et du pancréas ;



• le **tronc spléno-mésaraïque**, lui-même formé par la réunion de :

– la **veine mésentérique inférieure**, qui draine le sang veineux provenant du côlon gauche et du rectum, et

– la **veine splénique**, qui draine le sang provenant de la rate et reçoit aussi les veines provenant de l'estomac et du pancréas.

Dans le foie, la veine porte se divise en branches de plus en plus fines (unités segmentaires puis unités lobulaires) pour aboutir aux sinusoides intra-lobulaires (figures 5.16 et 5.17).

Le terme « **porte** » signifie « segment entre deux systèmes capillaires » en l'occurrence, ici, les systèmes capillaires intestinal et hépatique.

• La **veine porte** apporte donc au foie les produits de la digestion contenus dans le sang de provenance intestinale.

Le système veineux porte et le système cave sont indépendants. Le système porte draine vers le foie le sang en provenance du tractus digestif ; le système cave draine vers le cœur le sang de toute la grande circulation. Des veinules permettent cependant à ces deux systèmes de communiquer : ce sont les **anastomoses porto-caves**. Elles peuvent se développer en excès en cas d'hypertension portale.

• L'hypertension portale se définit par une augmentation de pression dans le territoire veineux porte et s'observe fréquemment au cours de la cirrhose : le tissu hépatique remanié forme un bloc qui « résiste » à la circulation porte. Ces anastomoses porto-caves se développent exagérément permettant la dérivation du sang portal vers le système cave.

Artère hépatique

L'artère hépatique apporte 25 % du sang qui arrive au foie ; il s'agit de sang oxygéné. Elle provient du tronc cœliaque, provenant lui-même directement de l'aorte. Ses branches de division suivent les trajets portaux jusqu'aux sinusoides.

• Le **tronc cœliaque**, branche de l'aorte abdominale, donne naissance à trois artères :

- l'artère hépatique pour le foie ;
- l'artère coronaire stomacique pour l'estomac ;
- l'artère splénique pour la rate.

Veines sus-hépatiques

Elles drainent le sang qui repart du foie (une fois passé dans les sinusoides). Les ramifications premières correspondent à la veine centro-lobulaire du lobule (figures 5.16 et 5.17). Puis les rameaux

sont de plus en plus gros pour constituer les veines sus-hépatiques qui se jettent dans la veine cave inférieure (qui est accolée à la face postérieure du foie) immédiatement au-dessous du diaphragme.

À RETENIR

Le sang qui arrive au foie provient :

- de la veine porte (75 % du débit) qui apporte du sang veineux provenant de l'ensemble du tube digestif et véhiculant les nutriments absorbés ;
- de l'artère hépatique (25 % du débit) qui apporte le sang oxygéné.

Canaux lymphatiques

Il existe un réseau lymphatique superficiel et un réseau profond. Les principaux relais de drainage sont les ganglions du pédicule hépatique et des ganglions latéro-aortiques sous-diaphragmatiques et latéro-caves sus-diaphragmatiques.

Nerfs

Le foie reçoit ses nerfs essentiellement du plexus solaire et du plexus diaphragmatique.

Histologie

Le **lobule hépatique** est l'unité structurale et fonctionnelle du foie (figure 5.16). De forme polyédrique, il est centré sur la **veine centro-lobulaire** efférente et est limité par les **espaces portes**. Il contient les **hépatocytes** disposés en travées radiaires à partir du centre et entourés des **sinusoides** vasculaires (figure 5.17). Le diamètre moyen d'un lobule est 0,5 mm.

• Les **hépatocytes** sont les cellules spécifiques du foie et représentent 60 % du parenchyme hépatique. Elles ont un pôle apical en contact avec le sinusoides (et donc avec les différents composés apportés par le sang) et un pôle biliaire constituant avec celui de la cellule voisine un **canalicule biliaire** (où la cellule déverse la bile qu'elle forme et qui sera drainée vers le canalicule de l'espace porte).

• Les **sinusoides** sont les vaisseaux capillaires du foie reliant les vaisseaux arrivant au foie (unités lobulaires de la veine porte et artérioles hépatiques) et ceux en repartant (veine centro-lobulaire aboutissant aux veines sus-hépatiques). Ces capillaires ont la particularité d'être « fenêtrés » (présence de larges pores dans leur paroi) ce qui facilite les échanges entre le sang et les hépatocytes.

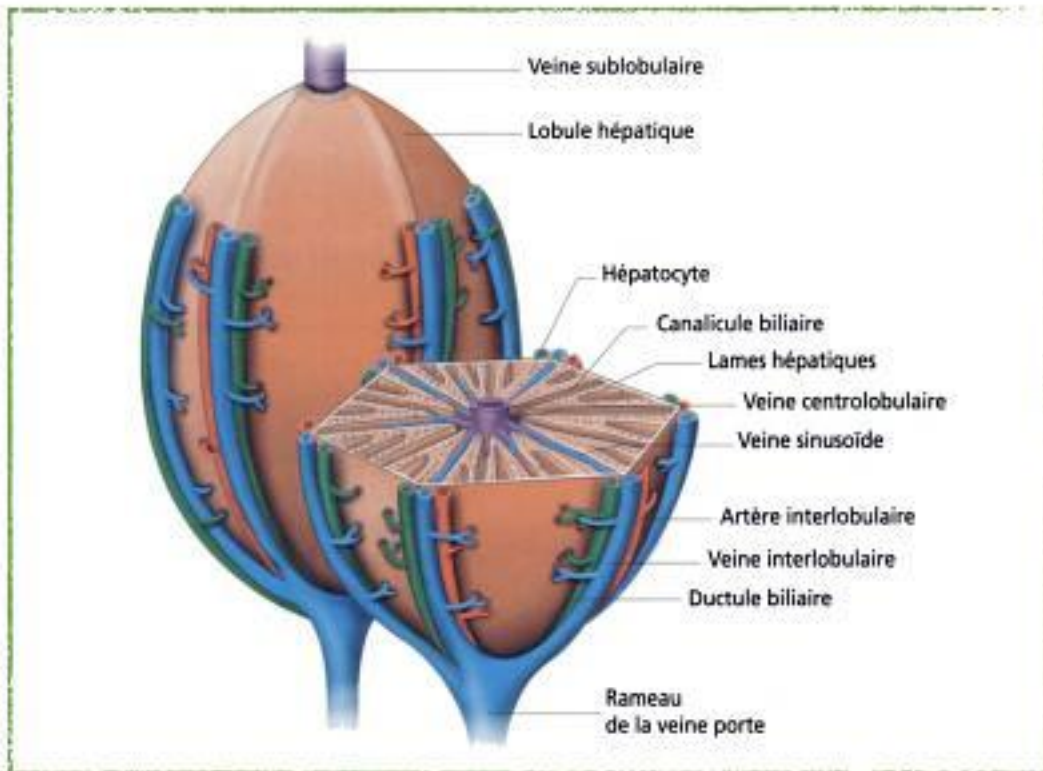


Figure 5.16. Représentation tridimensionnelle du lobule hépatique.



Figure 5.17. Représentation tridimensionnelle des connexions entre le lobule et l'espace porte.

L'espace virtuel entre les hépatocytes et les cellules endothéliales formant le sinusoiide est appelé **espace de Disse** et contient quelques cellules de type différent (cellules immunitaires dites cellules de Kupffer, fibroblastes...).

● **Les espaces portes** se situent à la périphérie et entre les lobules. Ils contiennent chacun un rameau de la veine porte, de l'artère hépatique et du canal biliaire. Ils participent aussi au drainage lymphatique.



► Voies biliaires

Anatomie descriptive et rapports

Disposition générale

Les voies biliaires comportent deux parties distinctes : les voies biliaires intrahépatiques et les voies biliaires extrahépatiques (figure 5.18).

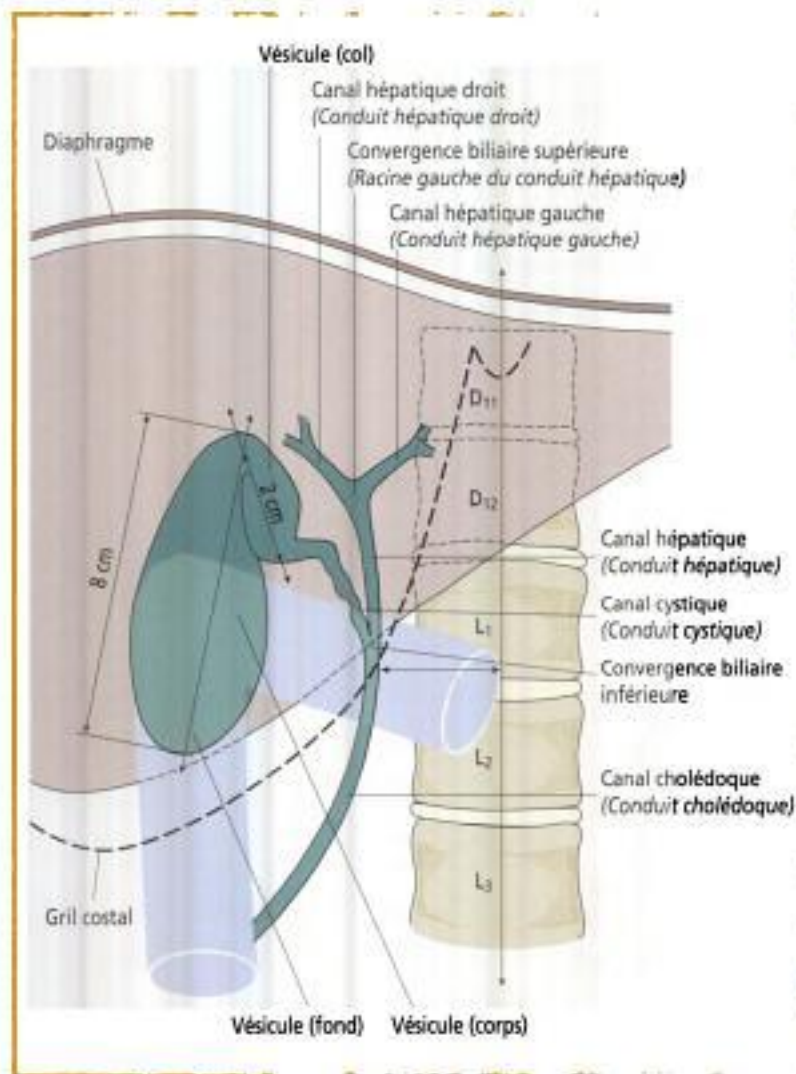


Figure 5.18. Les voies biliaires principale et accessoire.

• Voies biliaires intrahépatiques

Les voies biliaires intrahépatiques sont constituées :

- des **canalicules biliaires** qui représentent les plus fines ramifications (diamètre : 1 μ m) de l'arbre biliaire ; ils n'ont pas de paroi propre mais

sont formés par l'accolement des deux pôles biliaires des hépatocytes adjacents (voir anatomie microscopique du foie). Ils se collectent :

- dans des ductules biliaires,
- puis dans des canaux biliaires interlobulaires,
- qui convergent eux-mêmes, vers des canaux segmentaires qui ont leur propre paroi,
- et qui aboutissent aux canaux hépatiques droit et gauche.

• Voies biliaires extrahépatiques

Les voies biliaires extrahépatiques prennent le relais des voies biliaires intrahépatiques et sont constituées par deux ensembles de canaux :

- la **voie biliaire principale** qui draine la bile directement du foie vers le duodénum ;
- la **voie biliaire accessoire**, reliant la vésicule biliaire à la voie biliaire principale.

Voie biliaire principale

La voie biliaire principale est constituée de haut en bas par :

- la convergence biliaire supérieure ;
- le canal hépatique ;
- la convergence biliaire inférieure ;
- le canal cholédoque.

La voie biliaire principale dessine une courbe grossièrement concave à droite et en avant ou en S plus ou moins allongé de 8 cm environ. Son calibre est de 5 à 6 mm avec un rétrécissement à la partie inférieure du cholédoque.

• **Canal hépatique.** Les canaux biliaires intrahépatiques se groupent dans le hile du foie pour former la **convergence biliaire supérieure**, origine du canal hépatique.

Le canal hépatique débute par l'union des deux canaux hépatiques droit et gauche et descend en bas et à gauche sur 3 à 4 cm.

La **convergence biliaire inférieure** est constituée par l'union du canal cystique et du canal hépatique.

• **Canal cholédoque.** Le canal cholédoque débute au niveau de la convergence biliaire inférieure en prolongeant le canal hépatique (figure 5.19). Il descend oblique en bas et à droit pour s'aboucher dans une cavité, l'ampoule de Vater. Celle-ci est située à la partie moyenne du deuxième duodénum. Dans l'ampoule de Vater, s'abouche un autre canal : le canal de Wirsung (canal pancréatique principal). La terminaison des canaux est munie d'un sphincter : le **sphincter d'Oddi**. Ce sphincter fait saillie dans le duodénum et forme la **papille** (figure 5.19).



Voie biliaire accessoire

La voie biliaire accessoire est constituée par :

- la vésicule biliaire;
- le canal cystique.
- **Vésicule biliaire.** La vésicule biliaire a la forme d'une poire avec trois parties :
 - le fond, qui est arrondi;
 - le corps, oblique en haut, en arrière et à gauche qui mesure 8 cm de long environ;
 - le col, long de 2 cm, oblique en avant et à gauche, qui forme avec le corps un angle aigu ouvert en avant.
- **Canal cystique.** Le canal cystique fait suite au col de la vésicule. Il fait communiquer la vésicule biliaire au canal cholédoque qu'il rejoint au niveau du confluent biliaire inférieur. Il est donc oblique en bas, en arrière et à gauche et mesure environ 3 cm. Son diamètre est de 2 à 4 mm.

Rapports

La convergence biliaire supérieure est située en avant de la bifurcation de la veine porte.

Le canal hépatique est situé à gauche du canal cystique et à droite de l'artère hépatique propre.

Le canal cholédoque est situé en arrière du premier duodénum qu'il croise avant de descendre à la face postérieure de la tête du pancréas.

Le fond et le corps de la vésicule constituent la partie fixe de la voie biliaire accessoire. En revanche, le col de la vésicule et le canal cystique sont mobiles. Le corps de la vésicule est en rapport en bas avec le côlon transverse et au-dessus avec le duodéno-pancréas.

Vaisseaux et nerfs

● **Vaisseaux.** Les artères viennent des troncs situés à gauche de la voie biliaire : artères hépatique et gastroduodénale, arcade pancréatico-duodénale.

Les veines forment une arcade veineuse para-biliaire et rejoignent les branches de la veine porte.

● **Nerfs.** L'innervation est double : sympathique et parasympathique. Certaines fibres de la sensibilité montent avec le nerf phrénique droit et expliquent les douleurs scapulaires droites rencontrées au cours des affections biliaires.

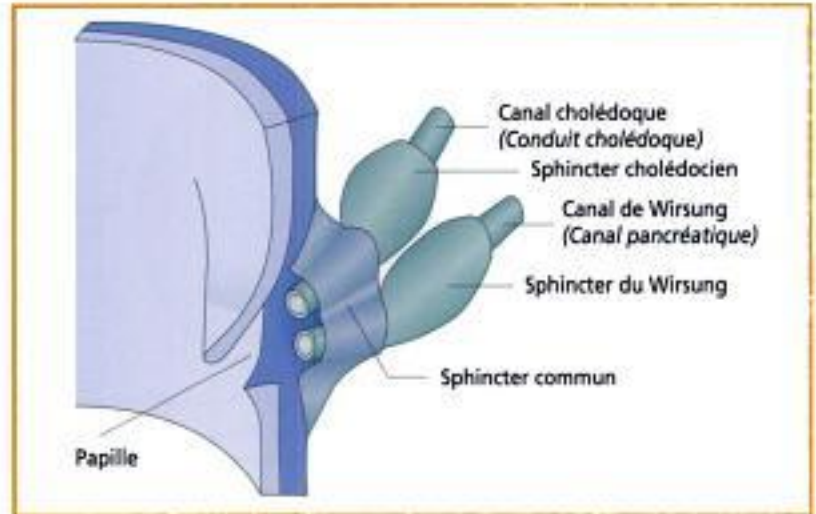


Figure 5.19. L'ampoule de Vater : abouchement du canal cholédoque et du canal de Wirsung.

Physiologie de la nutrition et de la digestion

BESOINS DE L'ORGANISME

Composition

L'organisme est constitué principalement d'eau puisqu'elle représente deux tiers de la masse d'un individu.

Les autres constituants de l'organisme sont les protéines (16 %), les glucides (2 %), les lipides (13 %) et les minéraux (64 %).

Besoins

Une alimentation convenable doit apporter de l'eau, des glucides, des protides, des lipides, des minéraux, des vitamines et des oligo-éléments. Elle doit couvrir les besoins énergétiques de l'organisme (figure 5.20).

Les besoins d'un homme de 70 kg sont d'environ 2000 kcal (8400 kJ); ils sont augmentés en cas d'effort physique ou bien chez l'adolescent et ils sont diminués en cas de sédentarité. Les besoins chez la femme sont légèrement inférieurs mais augmentent dans certaines situations particulières comme la grossesse ou l'allaitement.

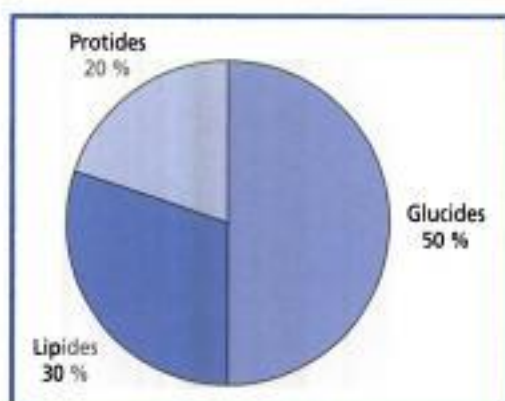


Figure 5.20. La répartition des apports caloriques en fonction des besoins énergétiques.

Le métabolisme est l'ensemble des réactions biochimiques qui aboutissent à la synthèse (anabolisme) ou à la dégradation (catabolisme) des molécules biologiques.

A RETENIR

L'organisme est composé de 66 % d'eau.
Une alimentation normale doit apporter chez un homme de 70 kg environ 2 000 kcal dont :

- 50 % de glucides;
- 30 % de lipides;
- 20 % de protides.

Le métabolisme est l'ensemble des réactions biochimiques qui aboutissent à la synthèse (anabolisme) ou à la dégradation (catabolisme) des molécules biologiques.

► Nutriments

Définition

Un nutriment est un composé, organique ou non, contenu dans les aliments, qui peut être utilisé par l'organisme pour être assimilé par les cellules sans subir de transformation digestive.

Ainsi, les aliments sont transformés par la digestion en nutriments, directement assimilables.

Les protides, les lipides et les glucides sont les trois substances de base de l'organisme.

Eau

L'eau ingérée provient de l'eau de boisson et de l'eau qui entre dans la composition des aliments (fruits, viandes et végétaux). Elle doit couvrir les pertes qui sont digestives (fécales), urinaires, sudorales et respiratoires.

Sels minéraux

Sodium

L'organisme contient environ 4 000 mmol de sodium. 30 % constituent le tissu osseux et ne sont pas échangeables.

C'est le principal ion extracellulaire. Sa concentration dans le plasma sanguin appelée « natrémie » varie entre 138 et 142 mmol/L. Il est en quantité très faible dans les cellules (10 mmol/L) mais ne cesse d'entrer et de sortir par la pompe à sodium.

Les apports se font par l'alimentation dans laquelle le sodium est combiné au chlore (NaCl) : le sel de cuisine. Les besoins sont en moyenne de 10 g/j. de chlorure de sodium. Ils sont toutefois très variables : les besoins sont augmentés en cas de sudation importante et doivent être considérablement réduits dans certaines maladies (insuffisance cardiaque, cirrhose).

Le sodium joue un rôle très important dans les échanges liquidiens de l'organisme.

Potassium

L'organisme contient environ 3 000 mmol de potassium. 90 % sont intracellulaires et échangeables. La concentration plasmatique de potassium appelée « kaliémie » est donc faible : 3,5 à 4,5 mmol/L.

Les besoins sont faibles car les pertes sont minimes. Le potassium joue un rôle dans les échanges liquidiens de l'organisme, dans la contraction musculaire et l'activité de certains systèmes enzymatiques.

Magnésium

L'organisme contient environ 30 g de magnésium dont plus de la moitié est fixée à l'os. L'autre partie du magnésium est surtout intracellulaire et seule une très faible quantité circule dans le plasma.

Le magnésium joue un rôle dans la contraction musculaire.

Calcium

Le calcium est un des minéraux les plus importants de l'organisme qui en contient 1 000 à 1 500 g. 99 % sont liés au squelette. 1 % du calcium circule dans le plasma ; il intervient dans la contraction musculaire. Sa concentration plasmatique varie entre 2,25 et 2,50 mmol/L.

Les besoins alimentaires sont de l'ordre de 500 à 1 000 mg/j. ; ils sont augmentés pendant la croissance et la grossesse. Le calcium est apporté essentiellement par les produits laitiers.



Phosphore

L'organisme comprend 700 g de phosphore dont 90 % sont fixés à l'os. Le phosphore restant est circulant et participe aux réactions biochimiques de phosphorylation. Ces réactions permettent aux nutriments de fournir de l'énergie à l'organisme. La concentration plasmatique du phosphore est de 0,70 à 1,40 mmol/L. Le lait, le chocolat et le poisson sont des aliments riches en phosphore; les besoins sont de l'ordre de 800 mg/j.

Protéines

Structure

Les protéines sont composées d'acides aminés, mis bout à bout, qui sont les nutriments (figure 5.21). Il existe 20 acides aminés naturels. Certains acides aminés sont dits « essentiels » car ils ne peuvent pas être synthétisés par l'organisme lors de l'anabolisme et doivent donc impérativement être apportés par l'alimentation (les autres acides aminés sont dits « accessoires »). C'est pourquoi les protéines animales et végétales ne sont pas équivalentes : seules les protéines animales contiennent ces acides aminés essentiels. Les autres acides aminés sont dits « accessoires ».

Tableau 5.1. Liste des acides aminés.

Acides aminés essentiels	Acides aminés accessoires
Valine	Alanine
Leucine	Acide aspartique
Isoleucine	Arginine
Lysine	Cystéine
Thréonine	Glutamine
Méthionine	Glycine
Phénylalanine	Histidine
Tryptophane	Ornithine
	Proline
	Hydroxyproline
	Sérine
	Tyrosine

Rôle

Les protéines participent de façon essentielle à la formation des différents tissus de l'organisme, en revanche leur rôle dans l'apport énergétique de l'organisme est minime. Il n'existe aucune réserve protidique dans l'organisme.

Apport alimentaire

Les besoins en protéines sont au minimum de 0,5 g/kg/j. Chez l'enfant, les besoins sont augmentés pour la croissance.

Les aliments les plus riches en protides sont la viande, les œufs, les poissons, les laitages et certains végétaux comme le soja. Soulignons encore que seules les protéines d'origine animale contiennent les acides aminés essentiels.

Les pertes protidiques se font sous forme d'urée, éliminée dans les urines par le rein.

Glucides

Structure

Les glucides sont formés d'un seul ose ou d'une succession d'oses (figure 5.22). On distingue :

- les monosaccharides ou oses comme le glucose, le fructose ou le galactose ;
- les osides qui sont des associations de 2 à 10 oses.

Les plus connus sont les disaccharides :

- lactose = glucose + galactose ;
- saccharose = glucose + fructose (le saccharose est le sucre alimentaire) ;
- maltose = glucose + glucose.

Les polysaccharides ou polyosides qui contiennent plus de 10 molécules d'oses. Les plus connus sont le glycogène et l'amidon qui sont des chaînes de glucose reliées différemment les uns aux autres.

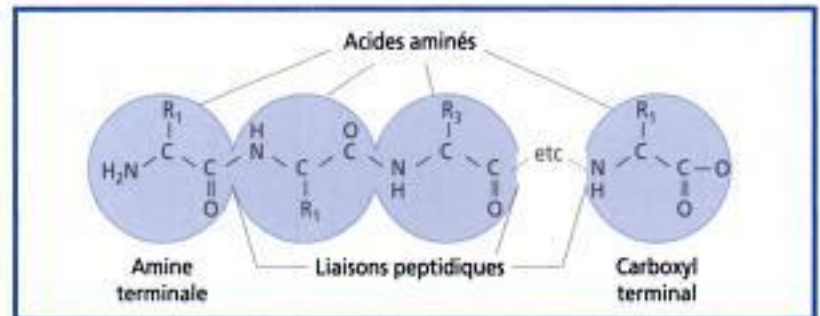


Figure 5.21. La structure chimique des protides.

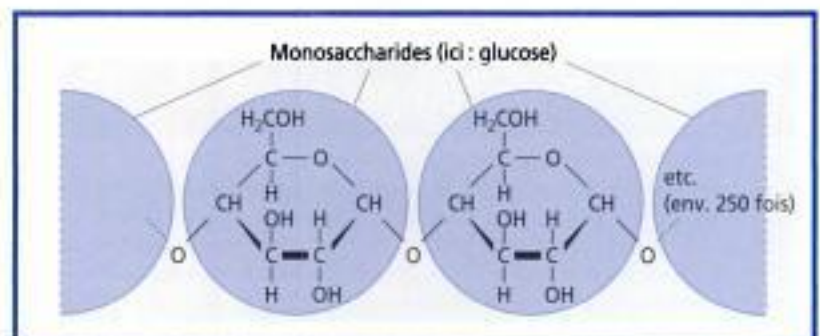


Figure 5.22. La structure chimique des glucides.



Rôle

Les glucides sont la source d'énergie principale de l'organisme car ils sont rapidement métabolisables. 1 g de glucides apporte 4 kcal.

Apport alimentaire

● **Glucides assimilables.** Les végétaux sont la principale source alimentaire de glucides.

On distingue les sucres lents (ou à index glycémique faible) qui sont lentement absorbés et métabolisés, et les sucres rapides (ou à index glycémique élevé) qui sont rapidement absorbés.

Le principal glucide de l'organisme est le glucose. Il pénètre dans les cellules sous l'action d'une hormone : l'insuline. Une fois dans la cellule, il est soit dégradé pour délivrer de l'énergie, soit stocké sous forme de glycogène pour fournir de l'énergie à un autre moment.

● **Glucides non assimilables : les fibres alimentaires.** Les fibres alimentaires sont des glucides non assimilables car non absorbables par l'intestin. Elles ont la propriété d'augmenter le volume du bol fécal et plus généralement de réguler l'activité du côlon. Il s'agit principalement de la cellulose qui est composée de plusieurs centaines de molécules de glucose mises bout à bout mais également des lignines, des pectines et des gommages.

Lipides

Structure

On distingue plusieurs types de lipides.

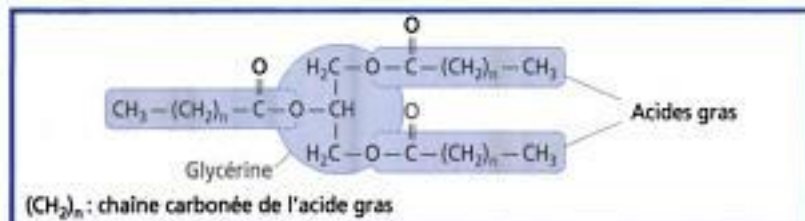


Figure 5.23. La structure chimique des lipides (exemple : triglycéride).

Pour comprendre

- Les glucides sont formés d'un ose ou d'une succession d'oses.
- Les lipides sont formés d'acides gras et de glycérides qui sont le résultat d'une réaction chimique entre un acide gras et un alcool (le glycérol). La grande majorité des lipides de l'organisme sont des triglycérides. Certains acides gras sont dits essentiels car ils ne peuvent pas être synthétisés par l'organisme mais lui sont indispensables.
- Les protéines sont composées d'une succession d'acides aminés mis bout à bout. Il existe 20 acides aminés naturels. Huit d'entre eux sont dits essentiels car ils ne peuvent pas être synthétisés par l'organisme mais lui sont indispensables.

● **Acides gras.** Ce sont des chaînes carbonées qui se terminent par une fonction acide : $R-COOH$. Il existe de nombreux acides gras que l'on distingue en fonction de la longueur de leur chaîne carbonée et du nombre et de la position des doubles liaisons de la chaîne acide. On parle d'acides gras « saturés » ou « insaturés » (mono- ou poly-insaturés) en fonction du nombre de doubles liaisons. Certains acides gras insaturés sont dits « essentiels » car ils ne sont pas synthétisés par l'organisme : acides arachidonique, linoléique et linolénique.

● **Glycérides.** Le glycéride est le résultat de l'estérification d'un acide gras sur un alcool : le glycérol. Il peut s'agir de mono-, di- ou triglycérides en fonction du nombre d'acides gras ayant réagi avec le glycérol. 95 % des lipides de l'organisme sont des triglycérides (figure 5.23).

● **Stérols.** Le plus connu est le cholestérol, qui possède une structure chimique particulière en forme de cycle.

● **Lipides complexes.** Ils contiennent, en plus d'un glycéride, d'autres substances comme des glucides, des acides aminés, du phosphore, etc. Ce sont les phospholipides, les gangliosides, les cérebrosides et les sphingomyélines.

Rôles

● **Rôle structural.** Les lipides entrent dans la constitution des membranes (membranes cellulaires, membranes mitochondriales, etc.). Ils interviennent ainsi dans la formation de nombreuses cellules.

● **Rôle métabolique.** L'apport énergétique fourni par les lipides est important : 1 g de lipide = 9 kcal. L'utilisation à des fins énergétiques des lipides est plus lente que celle des glucides. Ainsi, les lipides apportés par l'alimentation sont stockés pour être utilisés en dehors des repas.

Apports alimentaires

Les lipides alimentaires peuvent être d'origine végétale ou animale.

Les graisses animales sont retrouvées dans la viande, les produits laitiers, le beurre, les œufs et le poisson. À l'exception des graisses provenant du poisson, les acides gras d'origine animale sont saturés. Les graisses végétales sont retrouvées dans les différentes huiles et la margarine. Elles peuvent être saturées (arachide), mono-insaturées (olive, colza) ou poly-insaturées (tournesol, maïs, pépins de raisins, soja, noix).



Vitamines

Définition

Une vitamine est une molécule organique sans valeur énergétique, apportée en quantité faible, de façon exogène (alimentation, soleil) à l'orga-

nisme car non synthétisable par lui et indispensable à la croissance et au développement de l'organisme.

On distingue les vitamines liposolubles (A, D, E, K) et hydrosolubles (les autres).

Tableau 5.2. Vitamines : rôles, provenance et conséquences d'une carence.

	Nom de la vitamine	Rôle	Apport	Conséquences d'une carence
Vitamines liposolubles	A Rétinol	Composé de la rhodopsine indispensable à la vision normale. Intervient dans la fabrication des stéroïdes sexuels.	Foie et abats, lait, œufs, beurre, poissons, nombreux légumes.	Perte de la vision nocturne.
	D Colécalciférol	Rôle dans le métabolisme phospho-calcique. Favorise l'absorption intestinale du calcium et du phosphore.	Production essentiellement endogène par l'organisme sous l'action des rayonnements solaires. Beurre, œufs, poissons gras, huile de foie de poisson.	Rachitisme. Ostéomalacie (déméralisation et déformations osseuses).
	E Alpha-tocophérol	Antioxydant : favorise la formation et la protection des membranes cellulaires.	Graines de céréales, foie, œufs, poissons.	Inconnue.
	K	Rôle dans la synthèse de certains facteurs de la coagulation (II, VII, IX, X).	Viandes, foie, poissons, légumes verts, tomates.	Troubles de la coagulation. Hémorragie.
Vitamines hydrosolubles	B ₁ Thiamine	Fonctionnement du système nerveux.	Foie, céréales, légumes et fruits secs, viandes.	Béri-béri (atteinte du système nerveux périphérique). Syndrome de Korsakoff (trouble de mémoire chez le patient alcoolique).
	B ₂ Riboflavine	Rôle dans le métabolisme des protéines.	Foie, lait, œufs.	Inconnue.
	B ₃ = PP Acide nicotinique	Rôle dans le transport de l'hydrogène.	Blé, farine, foie, viandes.	Pellagre (diarrhée, troubles mentaux).
	B ₅ Acide panthothénique	Rôle dans le métabolisme cellulaire.	Foie, œufs, poissons, céréales, légumineuses, viandes.	Inconnue.
	B ₆ Pyridoxine	Rôle dans le métabolisme des acides gras et le fonctionnement du système nerveux.	Foie, viandes, légumes, céréales, poissons.	Polynévrites, glossite, vertiges, lésions cutanées.
	B ₉ Biotine	Rôle dans le métabolisme cellulaire.	Foie, abats, jaune d'œuf, légumineuses, champignons, chocolat.	Troubles trophiques cutanés et des phanères (ongles, cheveux, poils).
	B ₉ Acide folique	Rôle dans la synthèse des acides nucléiques.	Légumes verts crus, foie, abats, jaune d'œuf, viandes, chocolat.	Anémie macrocytaire.
	B ₁₂ Cyanocobalamine	Rôle dans la fabrication des globules rouges.	Foie, abats, crustacés, poissons gras, laitages, œufs.	Maladie de Biermer (anémie macrocytaire).
	C Acide ascorbique	Rôle mal connu; intervient dans la synthèse du collagène et des hormones stéroïdes.	Fruits frais, légumes frais.	Scorbut (anémie, hémorragies, anomalies des phanères).



À RETENIR

- Les vitamines sont des molécules indispensables en très faible quantité à l'organisme car celui-ci ne peut pas les synthétiser.
- Les vitamines liposolubles sont A, D, E et K.
- Les autres sont hydrosolubles.

Tableau 5.3. Fonction des différents organes du tube digestif.

Organe	Fonction mécanique	Fonction chimique
Bouche	Mastication. Début de la déglutition.	Insalivation. Début de la digestion des glucides.
Œsophage	Transit du bol alimentaire de la bouche vers l'estomac.	Aucune.
Estomac	Broyage, brassage et malaxage du bol alimentaire pour former le chyme.	Bactéricidie. Digestion des protides. Sécrétion du facteur intrinsèque (pour l'absorption de la vitamine B ₁₂).
Pancréas	Aucune.	Digestion des protides, glucides et lipides. Fonction endocrinienne (cf. physiologie endocrinienne).
Foie	Aucune.	Synthèse de nombreuses protéines (albumine, facteurs de coagulation, etc.); dégradation des protéines en urée. Synthèse et dégradation des lipides; solubilisation des graisses en synthétisant la bile. Stockage des glucides (réserves énergétiques). Métabolisme des médicaments.
Vésicule biliaire	Stockage et libération de la bile.	Aucune.
Intestin grêle	Péristaltisme : progression du contenu intestinal vers le côlon.	Siège de la digestion pancréatique. Absorption des nutriments.
Côlon et rectum	Formation et stockage des selles. Défécation.	Réabsorption de l'eau. Destruction des composés non digérés.

Oligo-éléments

Les oligo-éléments sont des éléments métalliques présents en très faible quantité dans l'organisme et qui sont indispensables au métabolisme. Il s'agit par ordre alphabétique de l'arsenic, du chrome, du cobalt, du cuivre, du fer, du fluor, de l'iode, du manganèse, du molybdène, du nickel, du sélénium, du soufre, du vanadium et du zinc.

DIGESTION

► Buts

Double action du tube digestif

La digestion a pour but de transformer les aliments en nutriments pour permettre leur absorption et leur utilisation par l'organisme.

Elle commence dès l'instant où les aliments pénètrent dans la cavité buccale. L'action du tube digestif est double :

- action mécanique : c'est le brassage et le broyage des aliments;
- action chimique : c'est la transformation des aliments par les enzymes digestives.

Transformation des aliments

Les glucides sont transformés en oses ou monosaccharides, les protéines sont transformées en acides aminés et les lipides en acides gras et en glycérol (figure 5.24).

À RETENIR

La digestion transforme :

- les glucides en oses (monosaccharides);
- les protides en acides aminés;
- les lipides en acides gras et en glycérol.

► Phase buccale

La bouche comporte deux fonctions : la mastication et l'insalivation.

Mastication

La mastication est un phénomène réflexe. Elle a pour but de broyer et de malaxer les aliments ainsi que de les mêler à la salive. Elle résulte de la répétition de mouvements d'ouverture, de fermeture, de reculement, d'avancement et de latéralité de la mandibule sur les maxillaires supérieurs.

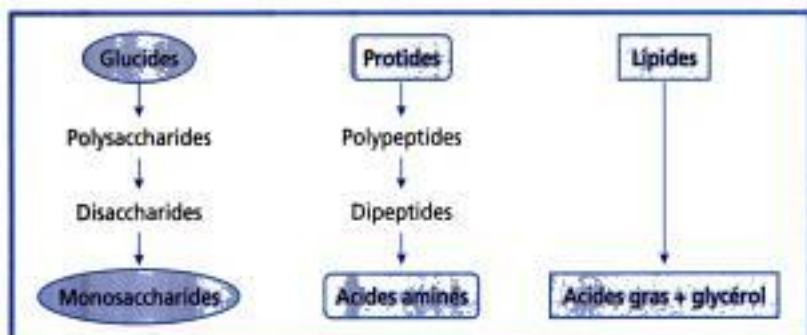


Figure 5.24. La transformation des aliments.



Insalivation

C'est l'imprégnation des aliments par la salive.

La salive est sécrétée par les glandes salivaires (parotide, sous-maxillaire et sublinguale). La quantité de salive formée est en moyenne de 1,5 L/j ou 1 mL/min ; pendant les repas, elle atteint 4 mL/min. La sécrétion salivaire est réflexe.

La salive a plusieurs rôles :

- elle lubrifie les aliments en les rendant déglutissables ;
- elle facilite la mastication et la parole ;
- elle commence la digestion des glucides (elle transforme l'amidon et le glycogène en maltose) grâce à une enzyme : l'amylase salivaire ou ptyaline ;
- elle a un rôle de défense contre les agents pathogènes.

L'action de la ptyaline est limitée car cette enzyme est détruite par l'acidité gastrique.

À RETENIR

La digestion des glucides commence dès la phase buccale par l'amylase salivaire.

► Phase de déglutition

La déglutition comporte trois temps : le temps buccal, le temps pharyngien et le temps œsophagien (figure 5.25).

Temps buccal

Il est volontaire. Les aliments sont repoussés en arrière vers le voile du palais par la langue.

Temps pharyngien

Il est réflexe.

La mâchoire se ferme, le voile du palais se soulève pour bloquer la cavité naso-pharyngienne, le bol alimentaire appuie alors sur l'épiglotte ; sous la pression de la langue, le bol alimentaire descend dans le pharynx. La respiration est alors suspendue. La glotte se ferme et le larynx remonte jusqu'à l'obturation des voies respiratoires par l'épiglotte. Les muscles constricteurs du pharynx se relâchent permettant à la langue de pousser le bol alimentaire dans l'œsophage. Une fois le bol alimentaire entré dans l'œsophage, le larynx retrouve sa position initiale et la respiration reprend.

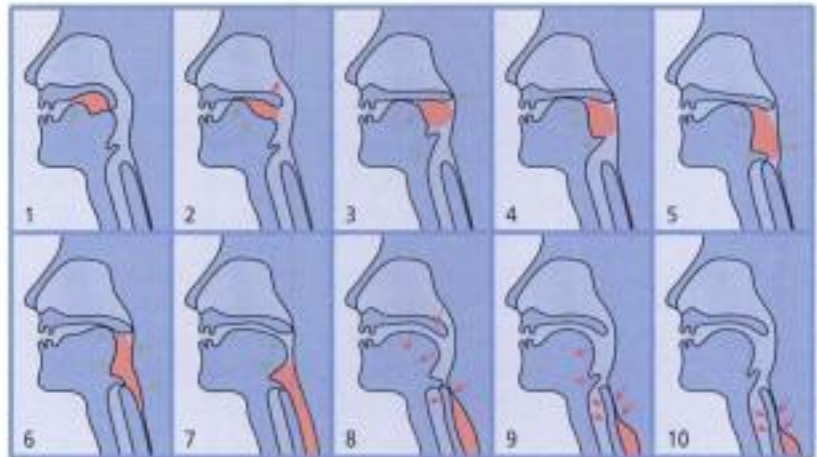


Figure 5.25. La déglutition.

1. Compression du bol alimentaire.
2. Fermeture de la mâchoire et soulèvement du voile du palais.
3. Blocage de la cavité naso-pharyngienne.
4. Pression du bol alimentaire sur l'épiglotte qui est poussée en arrière.
5. Descente du bol alimentaire dans le pharynx, obturation des voies respiratoires par l'épiglotte, arrêt de la respiration.
6. Relâchement des muscles constricteurs du pharynx : le bol alimentaire est poussé dans l'œsophage par la langue.
- 7 et 8. Entrée du bol alimentaire dans l'œsophage.
9. Retour du larynx à sa position initiale : reprise de la respiration.
10. Descente du bol alimentaire dans l'œsophage.

Temps œsophagien

Déglutition normale

Chaque déglutition est suivie d'une onde péristaltique de la couche musculaire de l'œsophage qui le parcourt et permet de le vider pour laisser place à une nouvelle déglutition.

L'œsophage est fermé à son extrémité inférieure, au niveau de la jonction avec l'estomac par un sphincter : le cardia. Il a pour rôle d'empêcher le reflux d'aliments de l'estomac vers l'œsophage. Le cardia est sous contrôle d'un nerf (le pneumogastrique ou vague), d'une hormone (la gastrine) et du système sympathique.

La déglutition d'un bol alimentaire entraîne l'ouverture réflexe du cardia pour que les aliments pénètrent dans l'estomac.

Anomalies de la déglutition

- **Reflux gastro-œsophagien.** Un tonus trop faible du cardia est à l'origine de certaines pathologies comme le reflux gastro-œsophagien et l'œsophagite peptique.



● **Vomissements.** Le vomissement est un réflexe de défense : lorsque des aliments ont une odeur désagréable ou peuvent endommager l'estomac voire l'organisme (aliments infectés), ils doivent être rapidement rejetés. Le diaphragme se bloque alors en position inspiratoire, et les muscles abdominaux se contractent brutalement. Le duodénum se contracte à son tour, et le cardia se relâche. Le contenu gastrique est alors comprimé et rejeté violemment dans l'œsophage. Le sphincter pharyngien est forcé, le voile du palais soulevé, et le chyme alimentaire expulsé par la bouche.

► Phase gastrique

La digestion gastrique est double : mécanique et chimique.

Digestion mécanique

L'excitation de la paroi gastrique provoquée par l'arrivée des aliments conduit à une contraction continue de l'estomac « proximal » pour entraîner les aliments vers l'estomac « distal ». Ainsi, l'estomac proximal a surtout un rôle de réservoir et l'estomac distal un rôle de digestion.

Durant ce trajet, les aliments sont broyés, brassés, malaxés, homogénéisés et mélangés au suc gastrique.

La durée de séjour des aliments dans l'estomac est variable. Ce n'est qu'après avoir été transformés en particules de taille inférieure à 0,3 mm qu'ils peuvent traverser le pylore pour passer dans le duodénum sous forme de **chyme**. Alors que l'eau séjourne dans l'estomac une vingtaine de minutes, ce temps peut atteindre 1 à 4 heures pour les aliments solides (temps de séjour des glucides < protéides < lipides).

Digestion chimique

Elle est assurée par l'ensemble des sécrétions gastriques appelées « suc gastrique ». L'estomac sécrète également une hormone : la gastrine.

Suc gastrique

L'estomac peut sécréter jusqu'à 3 litres de suc gastrique par jour. Le suc gastrique est un liquide clair et très acide (pH 1,5). Ses principaux constituants sont les enzymes protéolytiques (pepsines), le mucus, l'acide chlorhydrique et le facteur intrinsèque.

● **Pepsines.** Les pepsines sont les premières enzymes protéolytiques rencontrées par le bol alimentaire. En milieu acide, elles scindent les protéines en fragments plus petits : les polypeptides. Les pepsines sont sécrétées par les cellules pariétales.

● **Mucus.** Le mucus protège la paroi gastrique de l'acidité du suc gastrique. Il est riche en bicarbonates (HCO_3^-).

Certains médicaments comme les anti-inflammatoires non stéroïdiens ou l'aspirine altèrent le mucus et sont à l'origine de lésions gastriques (ulcères, hémorragies).

● **Acide chlorhydrique.** L'acide chlorhydrique est responsable de l'acidité gastrique. Il est sécrété par les cellules principales. Ses rôles sont multiples :
– action bactéricide (stérilisation du chyme gastrique);
– activation du pepsinogène inactif en pepsine actif;
– dénaturation des protéines.

● **Facteur intrinsèque.** Sécrété par les cellules principales, il est indispensable à l'absorption de la vitamine B_{12} (qui se fait dans l'iléon terminal). Son absence est responsable de la maladie de Biermer (anémie macrocytaire).

Gastrine

La gastrine est une hormone sécrétée au niveau de l'antrum par les cellules G. Déversée dans la circulation sanguine, elle stimule la sécrétion gastrique acide.

À RETENIR

- Il ne se produit aucune absorption alimentaire au niveau de l'estomac mais seulement une digestion des protéides.
- Les glucides et les lipides ne subissent pas de transformation majeure dans l'estomac.

Régulation du fonctionnement gastrique

On distingue trois types d'influences « (phases) qui agissent sur la fonction de l'estomac :

● **La phase céphalique**, c'est-à-dire les influences psycho-nerveuses (figure 5.26) : l'ingestion, voire la simple odeur des aliments, conduit par voie réflexe à une sécrétion de suc gastrique. Ce réflexe passe par les nerfs gustatifs, olfactifs et optiques qui constituent la voie afférente. Le nerf vague (ou pneumogastrique) constitue la voie éférente.

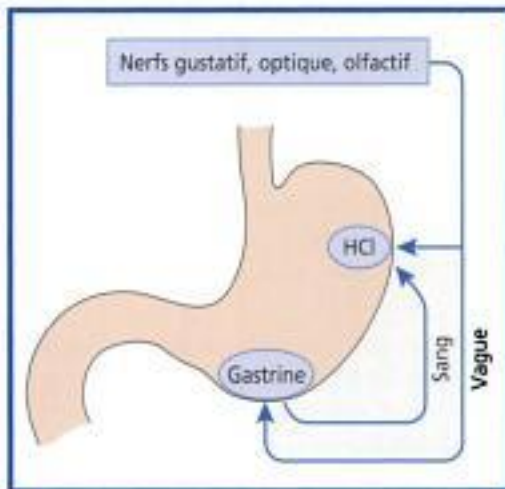


Figure 5.26. Les influences psycho-nerveuses pendant la phase céphalique.

● La phase gastrique, c'est-à-dire les influences locales (figure 5.27) : le contact du bol alimentaire avec l'antrum gastrique déclenche la sécrétion d'acide chlorhydrique par deux mécanismes :

- le bol alimentaire stimule localement la sécrétion d'acide chlorhydrique ;
- l'arrivée dans l'estomac du bol alimentaire stimule la sécrétion de gastrine. Cette hormone passe dans le sang pour stimuler la sécrétion d'acide chlorhydrique. Lorsque le pH de l'estomac devient très bas, il y a inhibition de la libération de gastrine par le nerf vague. C'est un rétrocontrôle (ou feedback) négatif.

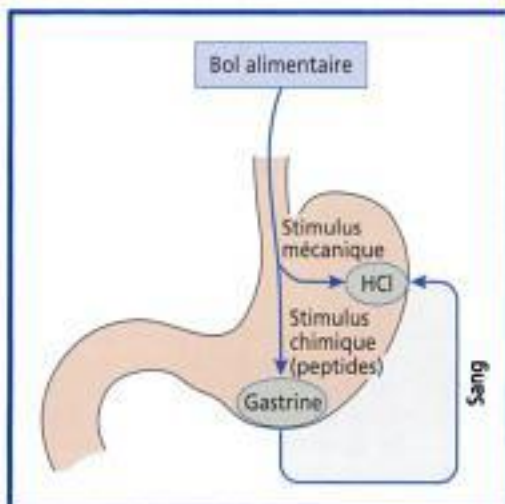


Figure 5.27. Les influences locales pendant la phase gastrique.

● La phase intestinale : le passage des aliments dans le duodénum inhibe la sécrétion et la motricité de l'estomac. Ce rétrocontrôle fait intervenir la libération d'hormones intestinales (sécrétine, VIP, somatostatine, etc.) et les systèmes sympathique et parasympathique (figure 5.28).

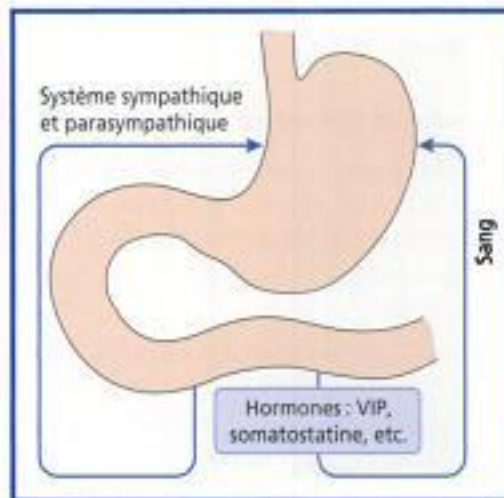


Figure 5.28. Les influences intestinales pendant la phase intestinale.

Il a été récemment suggéré que l'estomac pourrait sécréter des hormones qui contrôlèrent les apports alimentaires (ou la satiété), comme la leptine ou la ghreline.

Pour comprendre

La modulation du fonctionnement gastrique est complexe et dépend du type de repas :

- un repas riche en protéines stimule fortement la sécrétion de suc gastrique pour profiter de son activité protéolytique ;
- un repas riche en glucides ou en lipides ne stimule que peu la sécrétion gastrique ;
- le temps de séjour des aliments dans l'estomac dépend de leur composition (temps de séjour des glucides < protéides < lipides).

► Phase pancréatique

Le pancréas a deux fonctions distinctes :

● Une fonction endocrine qui correspond à la sécrétion d'hormones directement dans le sang. Les hormones sécrétées par les cellules endocrines des îlots de Langerhans du pancréas sont essentiellement l'insuline mais aussi le glucagon, la somatostatine, etc. Véhiculées par le sang, les hormones exercent leurs fonctions sur des cellules d'autres organes.



- Une fonction **exocrine** qui correspond à la sécrétion du suc pancréatique par les acini et les cellules canalaire. Le suc pancréatique est excrété dans le duodénum par l'intermédiaire des canaux pancréatiques. Il permet la digestion enzymatique des aliments dans la lumière intestinale (étape préalable nécessaire avant leur absorption). C'est cette fonction « digestive » que nous détaillons.

Formation et composition du suc pancréatique

La sécrétion pancréatique exocrine (ou suc pancréatique) est un mélange de deux solutions qui participent toutes deux au processus digestif :

- l'une contenant une concentration importante d'électrolytes ;
- l'autre contenant une concentration importante de protéines essentiellement enzymatiques.

Le volume moyen quotidien de la sécrétion pancréatique est d'environ 2,5 litres.

Fraction hydroélectrolytique

La fraction hydroélectrolytique est très riche en bicarbonates (donc basique).

Le rôle de ces bicarbonates est de neutraliser l'acide chlorhydrique déversé par l'estomac dans le duodénum.

Fraction protéique (enzymatique)

Cette fraction sert à la digestion des différents composants alimentaires (protéines, lipides et glucides). Plusieurs enzymes différentes sont sécrétées, chacune ayant une fonction précise :

- **Enzymes protéolytiques** : endopeptidases (trypsinogène, chymotrypsinogène, élastase...) et exopeptidases (carboxypeptidase). Elles sont sécrétées par le pancréas sous forme inactive puis sont secondairement activées dans le duodénum par d'autres enzymes dont l'entérokinase (provenant des cellules épithéliales du duodénum).
- **Enzymes lipolytiques** : lipase, phospholipases, cholestérol-estérase... Ces enzymes sont sécrétées dans le tube digestif directement sous forme active pour certaines ou sous forme inactive (proenzymes) et ne sont activées que secondairement.
- **Enzymes amylotiques** : amylase. Elles sont sécrétées sous forme directement active.
- **Autres enzymes** : ribonucléase...

Rôle de la sécrétion pancréatique exocrine

La sécrétion pancréatique est déversée dans le duodénum au moment des repas quand arrive le chyme gastrique dans le duodénum. Elle va se mélanger à ce chyme.

- La fraction bicarbonatée va permettre d'en tamponner l'acidité et assure ainsi une meilleure action des enzymes qui sinon seraient détruites en milieu acide.

- Les enzymes vont chacune attaquer leur substrat pour les couper en particules élémentaires qui pourront ensuite être absorbées à travers la paroi digestive au niveau du grêle. Ainsi :

- La lipase enlève deux acides gras des triglycérides, formant des acides gras libres et des monoglycérides qui peuvent alors être absorbés. La bile favorise l'action de la lipase en maintenant les lipides sous forme de petites gouttelettes.
- La cholestérol-estérase transforme le cholestérol estérifié en cholestérol libre qui devient alors absorbable.
- L'amylase scinde les polysaccharides en un mélange de disaccharides (qui devront encore subir l'action d'enzymes intestinales avant de pouvoir être absorbés) et d'oses (directement absorbables).
- Les endopeptidases, la trypsine et la chymotrypsine coupent les polypeptides en plus petits fragments ou **peptides** (composés de quelques acides aminés, qui devront encore subir l'action d'enzymes intestinales avant de pouvoir être absorbés puisque ce sont les acides aminés eux-mêmes qui représentent l'élément absorbable).
- Les carboxypeptidases A et B coupent l'acide aminé terminal de l'extrémité de certaines protéines.

Pour comprendre

Une insuffisance pancréatique exocrine se manifeste par une maldigestion principalement lipidique. Il en résulte une « stéatorrhée » ou présence de graisses en grande quantité dans les selles (les graisses non digérées par les enzymes ne peuvent pas être absorbées). Il peut apparaître aussi une maldigestion protéique et donc une « créatorrhée », mais les enzymes gastriques (pepsine) et intestinales suppléent en partie au déficit pancréatique. Quant à la portion glucidique, elle est aussi prise en charge par les enzymes intestinales qui suppléent le plus souvent au déficit pancréatique.



- La bile est déversée dans le duodénum en même temps que la sécrétion pancréatique et se mélange au chyme d'origine gastrique. Son action d'émulsification sur le chyme va favoriser l'action des enzymes pancréatiques.

Régulation de la sécrétion pancréatique exocrine

La sécrétion pancréatique est régulée par des facteurs à la fois hormonaux et nerveux. C'est l'action conjointe de ces facteurs qui déclenche et régule l'excrétion du suc pancréatique. Cette régulation va donc permettre de faire sécréter le pancréas au moment où des aliments vont être ingérés et devront être digérés.

Facteurs hormonaux

La cholécystokinine (CCK) est une hormone fabriquée par certaines cellules de la paroi duodéno-jéjunale. Sa sécrétion est déclenchée par l'arrivée des lipides et des protéines dans le duodénum. Une fois sécrétée, la CCK est véhiculée par voie sanguine (comme toute hormone) jusqu'au pancréas où elle va faire sécréter les enzymes. Ainsi, à mesure que la concentration en protéines et lipides baisse dans le duodéno-jéjunum (progression du chyme vers le grêle sous-jacent et absorption des nutriments), les stimuli de la libération de CCK diminuent et moins d'enzymes sont sécrétées par le pancréas.

La sécrétine est une hormone fabriquée par d'autres cellules de la paroi duodéno-jéjunale. Sa sécrétion est déclenchée par l'arrivée de l'acidité du chyme gastrique se déversant dans le duodénum. La sécrétine est véhiculée par voie sanguine jusqu'au pancréas où elle fait sécréter l'eau et les électrolytes.

La CCK et la sécrétine ont un effet potentialisateur l'une sur l'autre.

Facteurs nerveux

Les principales afférences nerveuses qui commandent la sécrétion pancréatique font partie du système parasympathique (nerf vague, appelé aussi nerf n° X, ayant pour médiateur l'acétylcholine). Cette stimulation nerveuse est mise en jeu par différents stimuli : sensoriels (vue et odeur des aliments), mécaniques (distension de l'estomac par l'arrivée des aliments). Elle intervient parallèlement et en synergie avec les facteurs hormonaux.

► Phase hépatique et biliaire

Le foie est un des organes dont les fonctions sont les plus complexes : il représente une véritable « usine » chimique de fabrication, de transformation et d'épuration. Il assure des fonctions essentielles vitales et irremplaçables.

Fonctions métaboliques

Avant tout, le foie est un organe métabolique. Il peut être comparé à une vaste usine dont les fonctions seraient :

- La production d'éléments biologiques indispensables à l'organisme (protéines, lipides, glucides). Cette fonction peut nécessiter plusieurs étapes : réception, stockage, fabrication ou transformation, redistribution.
- Le rejet des déchets biologiques et toxiques, assurant une détoxification et une protection de l'organisme.

Acides aminés et protéines

- Le foie synthétise et sécrète des protéines :
 - protéines plasmatiques : dont l'albumine (10 g/l.). L'albumine permet le transport dans le sang d'un grand nombre de molécules (qui se lient à elle pour leur trajet plasmatique) et elle est le principal régulateur de la pression osmotique plasmatique ;
 - protéines de structure ;
 - facteurs de coagulation, protéines de la réaction inflammatoire...

Il utilise pour cela les acides aminés (composants des protéines), apportés par voie portale, provenant de l'alimentation et de la destruction tissulaire.

- Le foie peut aussi permettre la dégradation des acides aminés.

Ils sont alors transformés en urée qui est elle-même éliminée par voie rénale.

Pour comprendre

Le foie synthétisant un grand nombre de facteurs de coagulation (facteurs I, II, V, VII, X...), en cas d'**insuffisance hépatocellulaire** la synthèse de ces facteurs est diminuée et il existe alors une **baisse du taux de prothrombine (TP)**.

Par ailleurs, en cas de **cholestase**, il existe une malabsorption lipidique et donc une malabsorption de la vitamine K qui est liposoluble. La vitamine K étant indispensable à la formation de certains facteurs de coagulation (II, VII, X), ces derniers sont alors abaissés et on observe ainsi une **baisse du TP**.

Le **facteur V** n'est pas dépendant de la vitamine K ; il est donc normal en cas de cholestase et abaissé en cas d'insuffisance hépatocellulaire.



Lipides

Le foie est le carrefour du métabolisme des lipides.

- Le foie synthétise les lipides.

Les acides gras apportés par le sang ou la lymphe, provenant de l'alimentation, sont captés par le foie. À partir de ces éléments, le foie resynthétise des lipides de plusieurs types (nouveaux acides gras, cholestérol, acides biliaires...). La cellule hépatocytaire redistribue ensuite ces lipides selon trois possibilités :

- une partie reste stockée dans le foie ;
- une partie est sécrétée dans le sang ;
- une partie participe à l'excrétion biliaire sous forme de phospholipides et d'acides biliaires.

- Le foie permet aussi la destruction de certains acides gras.

Ce catabolisme est une source d'énergie.

Glucides

Le foie est un régulateur du stockage et de la distribution des glucides.

- En période digestive : le glucose absorbé par l'intestin est soit utilisé immédiatement pour produire de l'énergie, soit stocké sous forme de glycogène dans le foie et dans le muscle. Au-delà d'un certain seuil, il est mis en réserve sous forme de lipoprotéine dans le tissu graisseux.

- En période interdigestive : les réserves hépatiques et musculaires sont mobilisées.

- En période de jeûne : les réserves hépatiques et musculaires sont épuisées en 48 heures ; le glucose est alors fabriqué à partir de lipides ou de certains acides gras (néoglucogenèse).

Pour comprendre

Le glucose est une source d'énergie majeure pour les tissus, indispensable pour le système nerveux central. Le glycogène stocké dans le foie en constitue une forme de réserve. Ainsi l'insuffisance hépatique aiguë et grave (au cours d'une hépatite fulminante par exemple) peut s'accompagner d'hypoglycémie gravissime.

Inversement, même et surtout en période de jeûne, le foie continue à synthétiser du glucose. Ainsi, c'est une erreur d'arrêter complètement l'insuline chez un patient diabétique à jeun car le foie continue à synthétiser du glucose. Chez un patient à jeun, les besoins en insuline liés à la synthèse hépatique de glucose sont d'environ 1 U/heure.

Métabolisme des médicaments

Tout comme il transforme et élimine d'autres substances endogènes plus ou moins toxiques, le foie joue un grand rôle dans le métabolisme des médicaments. Son action comporte trois étapes :

- la captation hépatocytaire, inégale selon les substances (de 30 à 70%) ;
- la biotransformation dans les hépatocytes. Elle rend les molécules hydrosolubles (par réduction ou par conjugaison), ce qui permet :
- l'élimination vers le sang ou vers la bile.

Pour comprendre

La prescription médicamenteuse doit donc être évitée ou extrêmement prudente et étroitement surveillée en cas d'insuffisance hépatique.

Fonction biliaire et excrétion

Formation et composition de la bile

La bile est sécrétée par les cellules hépatiques et les cellules des petits canaux biliaires. Elle est excrétée dans le duodénum essentiellement au moment des repas. Environ 0,5 à 0,7 litre de bile est sécrété par 24 heures.

La bile est une solution hydrique formée :

- d'eau (90 à 95 %) et d'électrolytes : chlorure, bicarbonate, sel de sodium, de potassium... Cette fraction est, en majeure partie, sécrétée par les cellules épithéliales tapissant les conduits biliaires ;

- de composés organiques : sels biliaires, cholestérol, phospholipides (dont la **lécithine**), pigments biliaires (dont le principal est la **bilirubine**)... Cette fraction est sécrétée par les hépatocytes.

- **Sels (ou acides) biliaires.** Les acides biliaires sont des molécules dérivant du cholestérol. On distingue :

- les acides biliaires primaires (acide cholique et acide chénodésoxycholique) synthétisés par les hépatocytes à partir du cholestérol. Ils sont ensuite conjugués à la glycine et à la taurine, puis enfin sécrétés activement dans les canalicules biliaires ;



– les acides biliaires secondaires (acide désoxycholique, acide lithocholique) formés dans le grêle terminal et le caecum à partir des acides biliaires primaires sous l'action des entérobactéries.

La majeure partie des sels biliaires qui pénètrent dans l'intestin au cours d'un repas est réabsorbée dans la partie inférieure de l'intestin grêle (l'iléon) et retourne au foie qui les sécrète à nouveau activement dans la bile. Ce mécanisme de recirculation est nommé **cycle entérohépatique**.

Le rôle des sels biliaires

Les sels biliaires ont plusieurs fonctions :

– Ils permettent la solubilisation dans la bile (et donc l'excrétion) de substances non hydrosolubles telles que le cholestérol : les sels biliaires forment en s'agrégeant entre eux (avec ou sans les phospholipides) des petites gouttelettes appelées **micelles** dont la surface, au contact de l'eau, est hydrophile et dont l'intérieur est hydrophobe. Les substances non hydrosolubles sont incorporées au centre des micelles et sont ainsi solubilisées.

Pour comprendre

Lorsque le taux de cholestérol dans la bile augmente, les sels biliaires et les phospholipides ne sont proportionnellement plus assez nombreux. Leur capacité à solubiliser le cholestérol est dépassée et des **calculs** de cholestérol se forment : c'est la lithiase vésiculaire. Par exemple, lorsque l'iléon est résecté chez certains patients, le cycle entérohépatique est rompu et il existe un risque de lithiase biliaire.

– Ils permettent la digestion intraluminaire des lipides et leur absorption :

1. en les émulsifiant : les sels biliaires assurent le maintien des lipides sous forme de nombreuses petites gouttelettes en les incorporant aux micelles. Ils augmentent ainsi la surface des lipides sur laquelle peut agir la lipase pancréatique ;

2. en favorisant l'abaissement du pH intestinal compatible avec l'action des lipases ;

3. en participant à l'absorption des lipides à travers la paroi digestive par l'intermédiaire des micelles : le transfert des lipides s'effectue directement par fusion des micelles avec la surface de

la cellule intestinale (indispensable à l'absorption du cholestérol et des vitamines liposolubles).

– Ils stimulent la synthèse hépatique et l'excrétion biliaire des **lécithines** ; ils stimulent, d'une façon plus générale, l'excrétion de la bile (pouvoir cholérétique) par le foie.

À RETENIR

Les sels biliaires sont indispensables à la digestion et à l'absorption des lipides.

Pour comprendre

L'accumulation d'acides biliaires dans le foie en cas d'obstruction des voies biliaires peut entraîner des lésions hépatocytaires du fait de leurs propriétés détergentes.

● **Bilirubine.** La bilirubine est un produit de dégradation de l'hémoglobine issue des globules rouges détruits. Elle circule dans le plasma, liée à l'albumine (car elle n'est pas soluble dans l'eau), puis elle est captée par l'hépatocyte.

Dans l'hépatocyte, elle est conjuguée avec l'acide glucuronique grâce à l'action d'une enzyme (la glucuronyl transférase), ce qui la rend hydrosoluble. Une fois conjuguée elle est excrétée par l'hépatocyte dans les canalicules biliaires.

Dans l'intestin, la bilirubine est transformée par les enzymes bactériennes en une série de dérivés, les urobilinogènes. La plus grande partie de ces urobilinogènes est éliminée dans les matières fécales auxquelles elles donnent leur couleur normale. Une autre partie est réabsorbée dans l'intestin puis une fraction est éliminée dans les urines (auxquelles elles donnent leur couleur normale) et une fraction est captée par le foie et est éliminée dans la bile.

Pour comprendre

La captation, la conjugaison et l'excrétion de la bilirubine dans la bile sont des fonctions hépatiques actives. En cas d'insuffisance hépatocellulaire, ces fonctions sont altérées et un ictère peut survenir.



Pour comprendre

En cas d'obstruction des voies biliaires, la bilirubine, une fois conjuguée, ne peut pas être évacuée dans la lumière digestive et est « refoulée » dans la circulation sanguine (puis filtrée en partie par les reins). Ainsi le taux d'urobilinogènes fécaux diminue : les selles sont décolorées et le taux d'urobilinogènes urinaires augmente : les urines sont foncées.

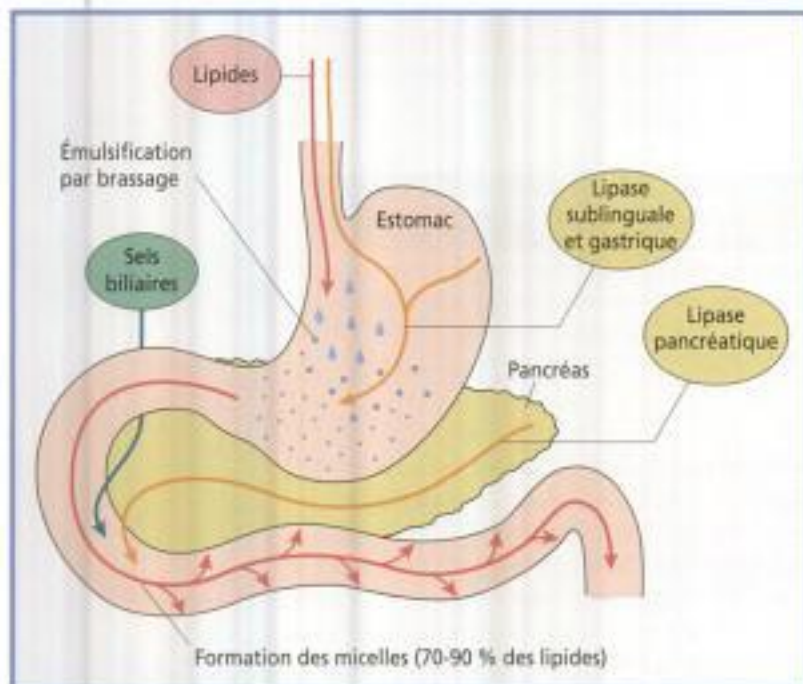


Figure 5.29. La digestion des lipides.

La bilirubine proprement dite, est appelée bilirubine non conjuguée (anciens termes : bilirubine libre ou bilirubine indirecte).

La bilirubine conjuguée à l'acide glucuronique, est appelée bilirubine conjuguée (ancien terme : bilirubine directe). Elle est hydrosoluble et peut être éliminée dans les urines.

● **Cholestérol.** La sécrétion du cholestérol constitue l'un des mécanismes par lequel l'homéostasie du cholestérol est maintenue.

Rôle de la sécrétion biliaire

La bile assure deux types de fonction :

- une fonction d'excrétion de substances endogènes (produits de dégradation de l'organisme comme la bilirubine, cholestérol...) et de substances exogènes (cuivre...);
- une fonction essentielle et collaborative dans la digestion des lipides.

Régulation de la sécrétion biliaire

De même que pour la sécrétion pancréatique, la sécrétion et l'excrétion biliaires sont sous un double contrôle hormonal et nerveux. La sécrétine, la cholécystokinine (CCK) et la gastrine stimulent la sécrétion biliaire.

Dans l'intervalle des repas, le sphincter d'Oddi reste fermé; le foie sécrète la bile qui s'accumule alors par reflux dans la vésicule où elle se concentre du fait d'un retrait d'eau : sa concentration est multipliée par un facteur allant de 5 à 10. Cela aboutit à un concentré qui, sous un faible volume, fournit pour la digestion de grandes quantités de constituants biliaires. En revanche, cette concentration facilite la formation de calculs biliaires.

Lors des repas, la vésicule se contracte. L'hyperpression force le sphincter d'Oddi et la bile se déverse dans l'intestin au niveau du deuxième duodénum. Cette contraction est sous la double dépendance de la CCK et du nerf parasympathique.

À RETENIR

La bile est une solution hydrique composée de bilirubine conjuguée, de cholestérol, de phospholipides et de sels biliaires. Elle est sécrétée par le foie, stockée dans la vésicule et excrétée dans le tube digestif au moment des repas. Son rôle est :

1. la mise en suspension des lipides alimentaires dans le tube digestif afin que ceux-ci puissent être correctement digérés par les enzymes pancréatiques puis absorbés;
2. l'excrétion de produits de dégradation tels que la bilirubine.

► Phase intestinale (grêle)

L'intestin grêle a quatre grandes fonctions :

- une fonction motrice;
- une fonction de digestion enzymatique;
- une fonction d'absorption des nutriments;
- une fonction de métabolisme des nutriments une fois absorbés.

Fonction motrice

Trois types de mouvements animent l'intestin grêle :

- La villosité a une mobilité propre qui permet d'établir un contact étroit entre l'épithélium et le chyme.

- La paroi du grêle est animée de mouvements pendulaires (au niveau de la musculature longitu-

dinale de la paroi digestive) et de mouvements de segmentation rythmique (au niveau de la musculature circulaire). Ces mouvements assurent le brassage du chyme mais ne sont pas propulsifs.

– Enfin, des ondes péristaltiques se propagent tout le long du grêle et permettent de faire avancer le chyme intestinal vers le côlon.

Tous ces mouvements sont commandés par le système nerveux autonome de l'intestin grêle (indépendant de l'innervation externe).

Digestion intestinale

Digestion lipidique

L'étage duodéno-jéjunal haut est le siège de la digestion pancréatique (voir *Phase pancréatique*, page 109). Au terme de cette étape (et de toutes les étapes d'amont), les lipides ne nécessitent plus d'attaque enzymatique et se trouvent sous forme de nutriments prêts à être absorbés : il n'y a donc pas stricto sensu de digestion lipidique intestinale (figure 5.29).

En revanche, une grande partie des glucides et des protéines doit encore subir une étape enzymatique pour devenir nutriment absorbable. Les enzymes nécessaires à cette étape sont synthétisées par les cellules intestinales et se localisent sur la bordure en brosse de ces entérocytes.

Digestion glucidique

Les nutriments glucidiques absorbables sont les monosaccharides comprenant le galactose, le glucose et le fructose (figure 5.30). Les oligo- et disaccharides (maltose, lactose, saccharose) issus de la phase salivaire, gastrique et pancréatique nécessitent donc une dernière étape enzymatique. Celle-ci est assurée par les enzymes entérocytaires suivantes : maltases, lactases, saccharases et glucosidases.

Digestion protéique

Les nutriments protéiques absorbables sont les acides aminés. À l'issue de la phase gastrique et pancréatique, la dégradation définitive des tri- et dipeptides en acides aminés est assurée par les amino- et dipeptidases intestinales (figure 5.31).

Absorption intestinale

L'intestin réabsorbe ainsi chaque jour en moyenne 6 à 8 litres, représentant la somme de l'eau et des aliments ingurgités ainsi que toutes les sécrétions digestives.

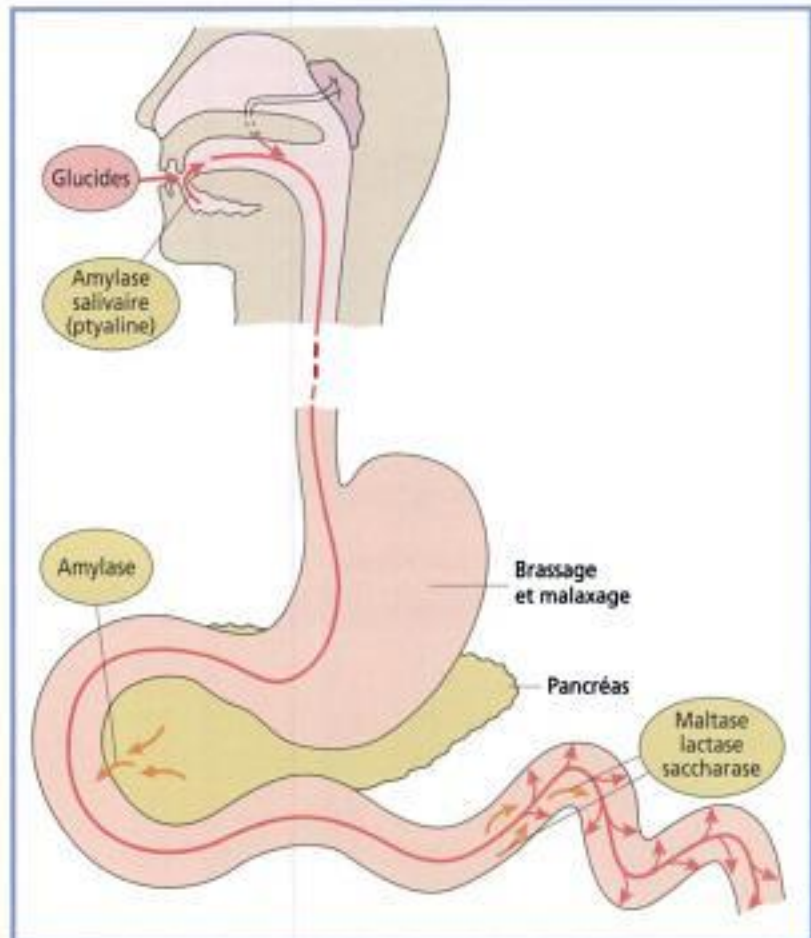


Figure 5.30. La digestion des glucides.

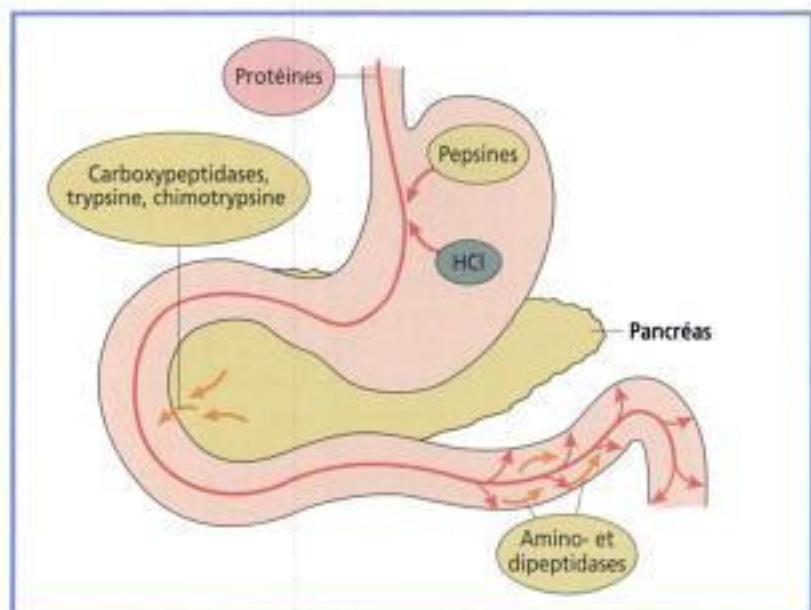


Figure 5.31. La digestion des protéines.



La capacité d'absorption varie avec les différents étages intestinaux : le duodénum est trois fois plus puissant que le jéjunum, lui-même trois fois plus puissant que l'iléon.

À RETENIR

La majorité des aliments digérés (les nutriments) ainsi que les liquides sécrétés (salivaires, gastrique, pancréatique...) sont absorbés au niveau de l'intestin grêle.

La structure anatomique de l'intestin grêle permet de multiplier considérablement (300 à 1600 fois soit plus de 100 m²) sa surface d'absorption par rapport à ce que serait la surface d'un tube lisse cylindrique. Les structures en cause sont : les valvules conniventes, les villosités, la bordure en brosse des entérocytes (figure 5.5).

Tableau 5.4. Pourcentage d'absorption selon l'étage intestinal.

	Duodénum et jéjunum supérieur	Jéjunum inférieur et iléon
Eau	70 %	30 %
Glucides	80 %	20 %
Lipides	75 %	25 %
Protéines	60 %	40 %

Ainsi, tous les étages intestinaux n'ont pas le même travail à faire : les étages d'aval ne font que ce que leur laissent les étages d'amont. Cependant la capacité d'absorption de l'intestin est très grande : une partie de l'intestin peut suppléer à une autre partie non fonctionnelle.

Pour comprendre

La résection intestinale allant jusqu'à la moitié de l'intestin peut être parfaitement bien tolérée du fait des capacités compensatoires de l'intestin (à condition que la moitié de l'intestin restant soit saine...).

Absorption de l'eau et des sels minéraux

Le transfert de l'eau à travers la paroi intestinale se fait de façon passive, accompagnant les molécules absorbées par l'intestin pour assurer l'isotonie du soluté transporté.

Six à huit litres d'eau sont réabsorbés par jour en moyenne (dont 1 litre au niveau du côlon) ; en cas de besoin, 18 litres au maximum peuvent être réabsorbés par jour (dont 5 litres pour le côlon).

Le transfert des ions se fait de manière essentiellement passive par simple diffusion et suit le schéma de l'eau.

Absorption des lipides

● Les acides gras et les monoglycérides peuvent être absorbés à tous les étages de l'intestin grêle. Enrobés dans les micelles, ils franchissent la membrane apicale des entérocytes par simple dissolution : la membrane étant une structure à base de lipides, le transfert s'effectue directement à partir de la micelle.

● Le cholestérol, intégré aux micelles, est absorbé de la même façon par fusion des micelles avec le pôle luminal des entérocytes.

● Certains acides gras (à chaîne courte, moins hydrophobes) et les vitamines liposolubles n'ont pas besoin d'être incorporés aux micelles pour atteindre les entérocytes ; une fois en contact, elles sont absorbées directement.

Absorption des glucides

Les oses sont absorbés facilement.

– Le fructose est absorbé de façon passive.

– Le glucose et le galactose sont absorbés par un mécanisme actif utilisant un « transporteur » situé dans la membrane apicale des entérocytes.

Les polysides sont absorbés plus difficilement.

Absorption des protéines

Les acides aminés sont absorbés de façon active à l'aide de transporteurs spécifiques dans la membrane entérocytaire.

Les di- et tripeptides peuvent aussi être transportés directement à travers la membrane entérocytaire grâce à d'autres transporteurs spécifiques. Une fois dans la cellule, ils sont divisés en acides aminés par des enzymes intracellulaires (peptidases solubles intracellulaires).

Absorption des vitamines

Les vitamines hydrosolubles (B₁, B₂, B₆, C, H) sont absorbées par un mécanisme actif (sauf pour la B₆) dans le jéjunum et l'iléon (pour la vitamine C).

Les vitamines liposolubles sont absorbées selon le processus d'absorption des lipides.

Métabolisme intestinal

Une fois les nutriments absorbés par les entérocytes, ils vont être :

– resynthétisés en molécules plus complexes ou rester sous forme élémentaire ;

– puis distribués à l'organisme par voie sanguine ou lymphatique.



Métabolisme des lipides

- Les acides gras (à chaîne longue) et les monoglycérides sont à nouveau synthétisés en triglycérides dans l'entérocyte. Ces triglycérides (non hydrosolubles) s'associent à des protéines nommées **lipoprotéines**, synthétisées par l'entérocyte, pour pouvoir être solubilisés et donc transportés et distribués dans l'organisme. Cette agrégation (triglycérides + lipoprotéines ± autres lipides) constitue un **chylomicron**.
- Le cholestérol, les vitamines liposolubles et les phospholipides s'intègrent directement dans les chylomicrons. Une partie du cholestérol est auparavant estérifiée (transformation chimique).
- Les chylomicrons sont déversés hors de l'entérocyte dans le milieu extracellulaire puis rejoignent la lymphe intestinale puis le flux sanguin systémique pour être distribués aux organes cibles.

Pour comprendre

La présence de chylomicrons dans le sang explique que le plasma soit trouble après un repas riche en graisses.

- Certains acides gras (à chaîne courte) sont relativement hydrosolubles et se déversent directement dans le système veineux drainant les cellules entérocytaires et aboutissant au foie.

Métabolisme des glucides

Une fois absorbés par l'entérocyte, les oses en ressortent vers la voie sanguine de drainage sans métabolisme intermédiaire.

Métabolisme des protéines

De façon identique, une fois absorbés activement par l'entérocyte, les acides aminés en ressortent vers la voie sanguine de drainage sans métabolisme intermédiaire. Ils sont donc distribués par voie portale.

► **Phases colique et rectale**

Motilité colique

La valvule iléo-cæcale s'ouvre lorsque des aliments pénètrent dans l'estomac par mécanisme réflexe (il s'agit du réflexe gastro-colique ou gastro-iléal) ; le contenu du grêle se déverse alors dans le côlon.

Puis le côlon est animé de différents mouvements :

- des mouvements mixtes de constriction ;
- des mouvements péristaltiques de propagation.

Ces mouvements sont commandés par le système nerveux intrinsèque du côlon (plexus myentérique).

Formation de la selle

Deux phénomènes interviennent au niveau du côlon afin de former la selle à partir du chyme intestinal :

- la réabsorption d'eau qui permet d'obtenir des selles formées et en quantité limitée (« compactage des déchets ») ;
- la destruction, par les bactéries coliques, de quelques composés qui n'ont pas été attaqués par les enzymes digestives.

Le temps de transit dans le côlon est de 24 à 48 heures.

Réabsorption

Le côlon reçoit chaque jour, venant du tube digestif d'amont 1 500 mL de liquide isotonique. Il en absorbe 1 300 à 1 400 mL principalement dans le cæcum sous forme d'eau et de sel. Sa capacité maximale d'absorption est de 5 litres environ par 24 heures ; ainsi tout volume supérieur sortant de l'iléon est susceptible de provoquer une diarrhée.

En revanche, le côlon n'absorbe pratiquement pas d'éléments nutritifs hormis quelques acides gras volatiles et de l'ammoniaque produits par les bactéries coliques.

La selle quotidienne, grâce à la réabsorption d'eau, pèse donc en moyenne 150 g et contient 80 % d'eau et 20 % de matières solides (résidus de la digestion, débris cellulaires non absorbables, bactéries, cellules desquamées...).

Phénomènes bactériens

De nombreuses bactéries sont présentes au niveau du côlon et se renouvellent suivant un équilibre à la fois quantitatif (nombre stable de bactéries) et qualitatif (proportions stables des différents types bactériens). Les phénomènes bactériens interviennent dans un certain nombre de processus digestifs :

- Les bactéries de fermentation agissent surtout au niveau du côlon droit. Elles digèrent l'amidon et certains sucres ayant échappé à l'absorption dans le grêle ; elles digèrent surtout la cellulose des fibres alimentaires.



– Les bactéries de putréfaction agissent au niveau du côlon transverse et du côlon gauche; elles dégradent certaines protéines.

Les gaz coliques sont produits par les phénomènes bactériens. On connaît en général les gaz odorants (H_2S) mais ils ne représentent que 1 % des gaz coliques! Les principaux gaz sont: l'hydrogène produit de la fermentation, le gaz carbonique d'origine mixte (fermentation et putréfaction), l'azote produit de l'air avalé...

Pour comprendre

Le côlon n'assure pas de fonction vitale et son excrète est compatible avec une vie normale.

Stockage et défécation

Le côlon sigmoïde et surtout le rectum permettent le stockage des fèces jusqu'à leur évacuation volontaire et contrôlée (défécation). Le sigmoïde est propulseur, l'anus a une fonction de continence et d'évacuation et, entre les deux, le rectum est amortisseur entre la propulsion sigmoïdienne et la résistance sphinctérienne.

La défécation obéit à un phénomène réflexe dont le point de départ est la sensibilité rectale à la distension; mais elle n'est pas qu'un acte réflexe puisque la volonté peut en partie la contrôler.

Système urinaire



ANATOMIE DES VOIES URINAIRES

► Reins

Anatomie descriptive

L'appareil urinaire est constitué des organes qui excrètent l'urine (les deux reins), du canal (l'uretère) qui conduit l'urine jusqu'au réservoir (la vessie), et du canal évacuateur (l'urètre). Il est classique de diviser l'appareil urinaire en deux unités fonctionnelles : le haut appareil urinaire qui comprend le rein et l'uretère, et le bas appareil urinaire qui correspond à la vessie et à l'urètre.

Les deux reins sont situés de part et d'autre de la colonne vertébrale dorso-lombaire (figure 6.1). Chaque rein a la forme d'un grain de haricot, de 12 cm de hauteur, de 6 cm de largeur et de 3 cm d'épaisseur. Le poids chez l'adulte est de 110 à 160 grammes. Le bord interne présente en son milieu un orifice appelé hile (figure 6.2). C'est le point de pénétration ou de sortie des vaisseaux et

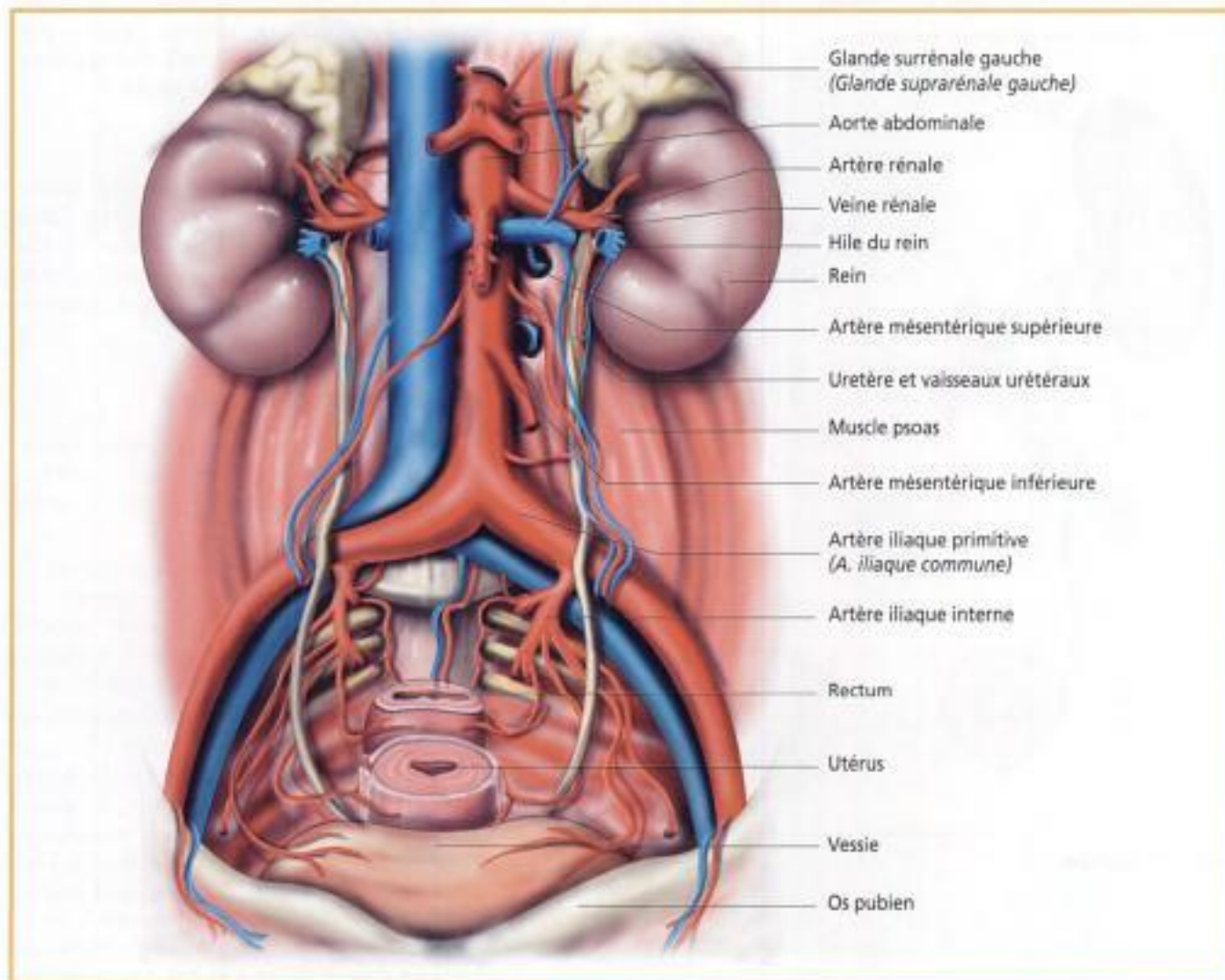


Figure 6.1. Vue générale du système urinaire chez la femme.

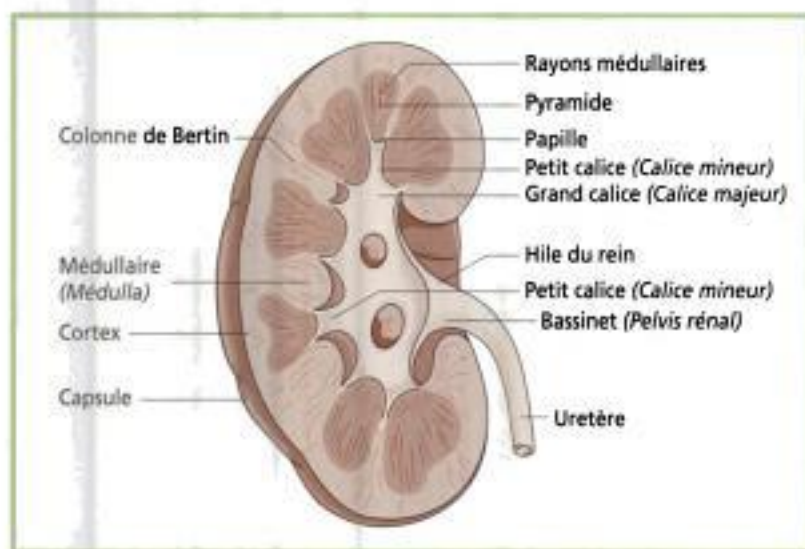


Figure 6.2. Section vue de face du rein droit.

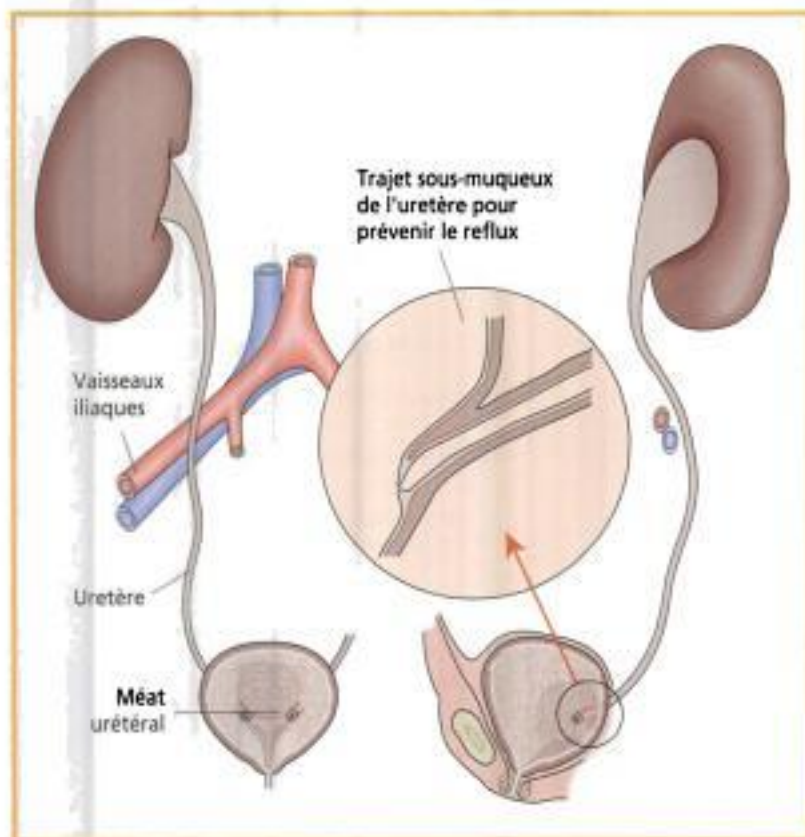


Figure 6.3. L'uretère.

des canaux excréteurs intrarénaux. Le tronc de l'artère rénale naît directement de l'aorte, le plus souvent au niveau de la première vertèbre lombaire. Au niveau du hile, le tronc rénal se divise en ses branches terminales. Le retour veineux est assuré par la veine rénale qui ramène le sang à la veine cave.

Rapports

Les reins sont plaqués contre la paroi abdominale postérieure à l'étage thoraco-abdominal, en avant des deux dernières côtes qui recouvrent la moitié supérieure du rein. Ils sont séparés des viscères digestifs (face postérieure du foie, côlon, duodénum à droite et rate, pancréas, côlon et anses grêles à gauche) par le péritoine pariétal antérieur. Le rein droit est plus bas situé que le rein gauche. Les glandes surrénales recouvrent le pôle supéro-interne du rein droit et la face antérieure du pôle supéro-interne du rein gauche.

Histologie

Chaque rein contient environ 1 million d'unités fonctionnelles ou néphrons où se forme l'urine primitive et où s'adapte l'urine définitive. Ces néphrons se répartissent dans le tissu interstitiel rénal depuis le cortex jusqu'à la médullaire profonde (figure 6.2).

► Voie excrétrice supérieure

Elle est constituée par les voies excrétrices intrarénales situées dans le sinus du rein (calices et bassinnet) et la voie excrétrice extrarénales qui lui fait suite (l'uretère).

- **La voie excrétrice intrarénales** comprend les petits calices au nombre de huit en moyenne, les tiges calicielles formées par la réunion des petits calices au nombre de trois en général, le bassinnet formé par la confluence des trois grands calices.
- **L'uretère** est un canal musculo-membraneux étendu sur 25 à 30 cm du bassinnet à la vessie (figure 6.3). On le divise en deux portions : la portion lombaire est appliquée contre le muscle psoas, la portion pelvienne croise l'artère iliaque interne. À la fin, l'uretère traverse la paroi vésicale avec un trajet sous-muqueux oblique qui prévient le reflux des urines de la vessie vers l'uretère, puis s'ouvre dans la vessie par un orifice ovalaire : le méat urétéral (figure 6.3). Les deux méats urétéraux sont paramédians et distants de 2,5 à 3 cm.



► Vessie

Anatomie descriptive

C'est un réservoir musculo-fibreux, tapissé d'une muqueuse urothéliale. La vessie assure le stockage de l'urine et son expulsion. On la subdivise en deux sous-unités de fonction différentes : le corps, dont les fibres musculaires lisses forment le détrusor, est extensible, et correspond à la partie située au-dessus des orifices urétéraux ; la base ou trigone, fixe, correspond à la partie plate de la vessie, située au-dessous des méats urétéraux. Elle constitue l'élément majeur de la continence.

Rapports

La face supérieure de la vessie est tapissée de péritoine. La face antéro-inférieure est unie au pubis par les ligaments pubo-vésicaux. La base de la vessie entre en rapport chez l'homme avec les vésicules séminales, la prostate et le rectum (figure 6.4) ; chez la femme avec la face antérieure du vagin et l'utérus.

Innervation

Les nerfs sont issus du plexus pelvien. Les centres nerveux sont constitués de noyaux médullaires et de centres supramédullaires sous contrôle du cortex.

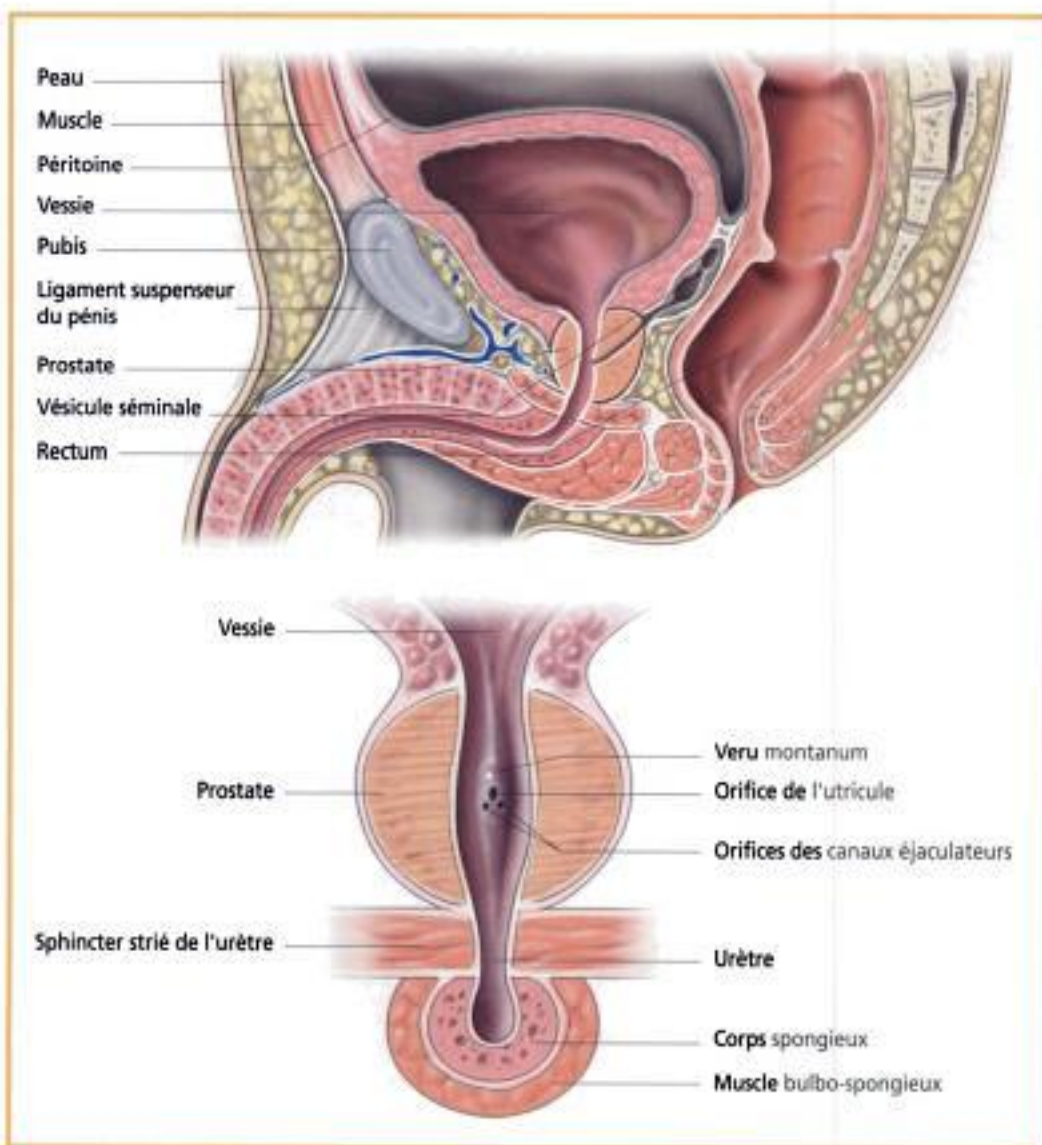


Figure 6.4. Le système urinaire chez l'homme.



► Urètre

● L'urètre féminin est un bref conduit de 3 cm, qui fait suite au col vésical. Il contourne le bord inférieur du pubis puis s'ouvre par le méat urétral au niveau de la vulve, à 2 cm en dessous et en arrière du clitoris, immédiatement en avant de l'orifice vaginal. Il est constitué d'une muqueuse de type urothélial qui possède un réseau glandulaire dont la sécrétion représente un élément de défense contre l'infection ascendante.

● L'urètre masculin sert à excréter l'urine et le sperme. Il est long de 14 cm en moyenne, et traverse successivement la prostate (urètre prostatique), l'aponévrose moyenne du périnée (urètre membraneux), et le corps spongieux (urètre spongieux) (figure 6.4).

PHYSIOLOGIE

Les reins ont un rôle primordial dans le maintien de la composition corporelle. Ils assurent, par leurs fonctions :

- l'équilibre des secteurs liquidiens de l'organisme et leur adaptation à l'environnement ;
- l'excrétion des substances inutilisables provenant du métabolisme ;
- la sécrétion d'hormones indispensables à différentes fonctions adaptatives.

► Structure physiologique du rein

● Le système vasculaire est représenté par le glomérule : le flocculus, bouquet de capillaires issu de l'artériole afférente (figure 6.5), baigne dans l'espace urinaire délimité par la capsule de Bowman. La formation de l'urine primitive se fait par filtration à travers la paroi des capillaires glomérulaires qui se réunissent dans l'artériole efférente. Les capillaires péri-tubulaires forment un réseau très dense autour des structures tubulaires. Un système veineux assure ensuite le retour du sang jusqu'à la veine rénale.

● Le système urinaire commence avec la capsule de Bowman. L'urine va ensuite parcourir l'ensemble du tube urinaire auquel on décrit différents segments (figure 6.6) : tube proximal, anse de Henle, tube distal, puis tube collecteur qui descend de la corticale jusqu'à la médullaire profonde et se réunissent avant d'arriver dans la papille.

● L'appareil juxtaglomérulaire est constitué par l'étroite proximité anatomique d'une partie du tube distal (la macula densa), et des artérioles afférentes et efférentes. Les parois de l'artériole afférente à ce niveau sécrètent la rénine, enzyme qui permet la transformation de l'angiotensinogène en angiotensine I. L'angiotensine I est ensuite transformée par l'enzyme de conversion, en angiotensine II qui provoque une vasoconstriction et stimule la sécrétion d'aldostérone.

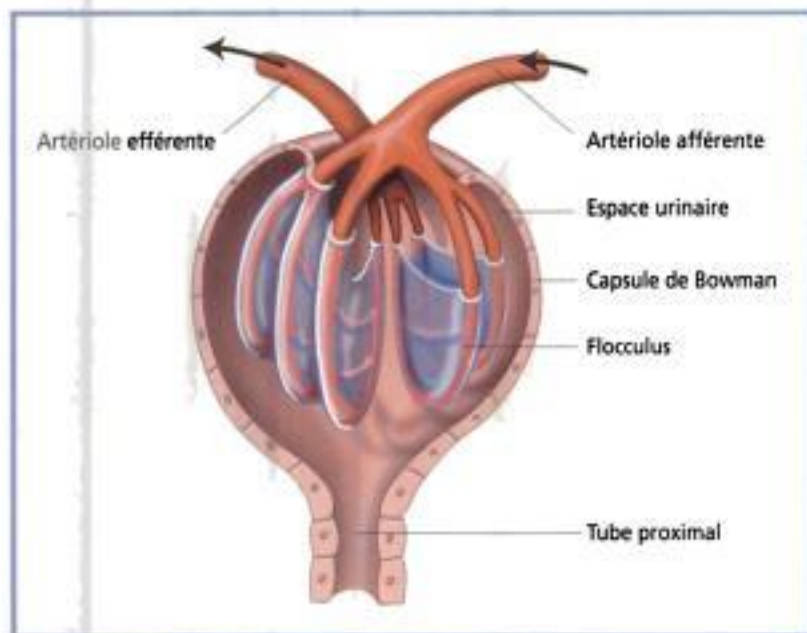


Figure 6.5. Vue du glomérule en trois dimensions.

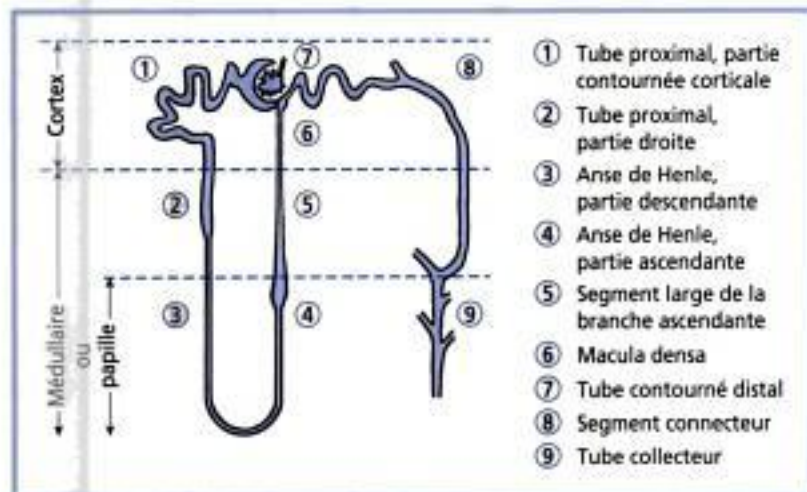


Figure 6.6. Le néphron.



► Fonction des différentes structures du néphron

Le système vasculaire reçoit le quart du débit cardiaque, soit 1 700 litres de sang ou environ 900 litres de plasma par jour. Le débit sanguin rénal fait l'objet d'une autorégulation locale et hormonale, qui permet de conserver un débit inchangé malgré des variations de pression artérielle systémique allant de 80 à 200 mmHg.

Sur ces 900 litres de plasma, 20 % seront filtrés au niveau des capillaires glomérulaires pour former 180 litres d'urine primitive qui seront ensuite modifiés dans les tubes pour donner à 1 à 2 litres d'urine. Cette filtration glomérulaire concerne tous les éléments plasmatiques, eau et substances dissoutes, sauf les poids moléculaires supérieurs à 68 000 D, et les éléments figurés du sang. Le débit de filtration glomérulaire (DFG) dépend de la pression efficace de filtration (P_F = environ 45 mmHg), de la surface des capillaires glomérulaires et de la perméabilité de leur paroi. La pression de filtration P_F dépend de phénomènes physiques (figure 6.7) :

- pression du sang dans le capillaire (P_H);
- pression oncotique des protéines plasmatiques (P_o);
- pression hydrostatique régnant dans la chambre urinaire (P_u).

$$P_F = P_H - (P_o + P_u)$$

À RETENIR

Chacun des paramètres influençant le DFG (pressions hydrostatique et oncotique dans les capillaires glomérulaires, surface d'échange au niveau du glomérule, perméabilité de la paroi du capillaire) peut entraîner, s'il est altéré, une modification du DFG.

Les mêmes équilibres de pressions hydrostatique et oncotique interviendront dans les processus de transfert au niveau des capillaires péri-tubulaires.

● Le système urinaire constitué des tubes est le lieu de profondes modifications de l'urine primitive, grâce à des transferts d'eau et de substances dissoutes :

- de l'urine vers le sang : **réabsorption**;
- du sang péri-tubulaire vers l'urine : **sécrétion**.

Ces transferts se font grâce à des **phénomènes passifs** :

- mouvements d'eau en fonction d'un gradient osmotique;
- mouvements de solutés en fonction d'un gradient de concentration ou d'un gradient électrique;

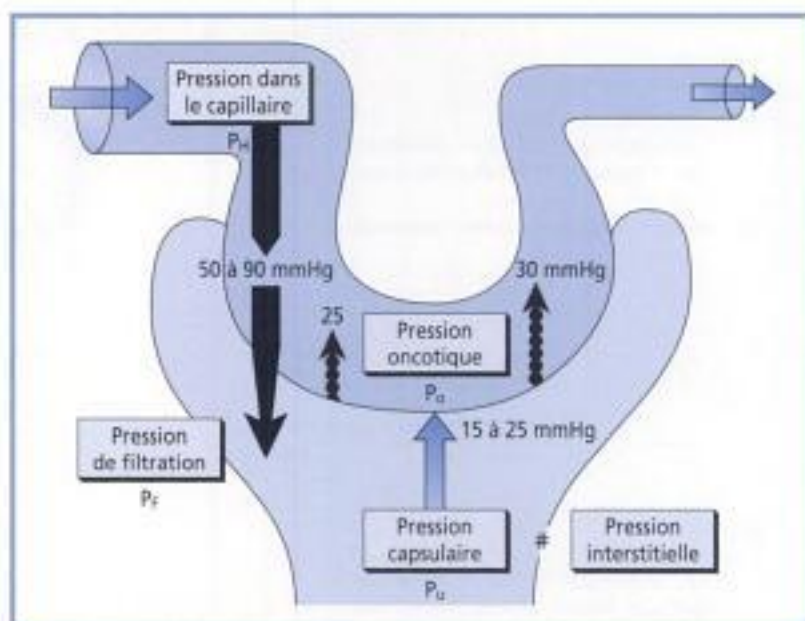


Figure 6.7. La filtration glomérulaire.

et grâce à des **transferts actifs** contre des gradients électrochimiques, transports qui nécessitent de l'énergie, l'intervention d'enzymes et de transporteurs ce qui en limite la capacité.

À RETENIR

De façon globale :

- 75 à 80 % de la quantité filtrée en eau et en substances dissoutes sont réabsorbés dans le tube proximal;
- les différentes structures de l'anse de Henle et le début du tube distal contribuent essentiellement à l'entretien d'un gradient de concentration osmotique cortico-papillaire;
- la fin du tube distal et le tube collecteur ajustent les transferts pour la formation de l'urine définitive.

Pour chaque substance filtrée, la quantité filtrée est égale à sa concentration plasmatique (P) multipliée par la quantité de plasma filtrée (DFG), la quantité excrétée dans les urines est égale à la concentration urinaire (U) multipliée par le débit urinaire (V) (figure 6.8). Le transfert tubulaire prédominant peut être évalué en comparant la quantité filtrée à la quantité excrétée :

- Si $U \times V < DFG \times P$ la substance est globalement **réabsorbée**
- Si $U \times V > DFG \times P$ la substance est globalement **sécrétée**
- Si $U \times V = DFG \times P$ la substance n'est ni réabsorbée, ni sécrétée

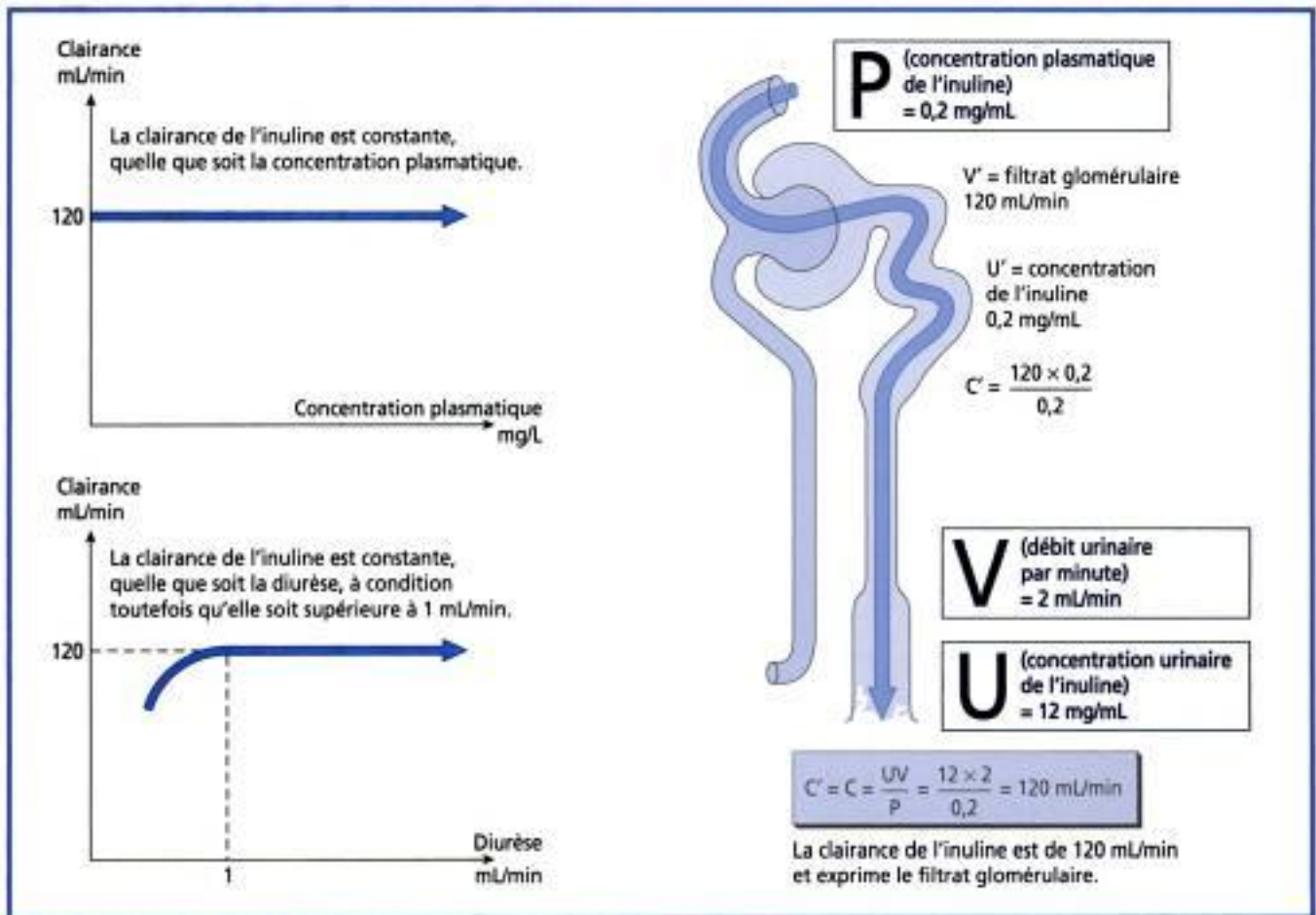


Figure 6.8. La clairance de l'inuline : ce traceur exogène est éliminé exclusivement par filtration glomérulaire.

Inuline = substance glucidique (polymère du fructose), préparée à partir des racines de chicorée et des tubercules de dahlia, utilisée pour l'étude de la fonction glomérulaire du rein.

► Rôle du rein dans l'équilibre hydroélectrolytique

Les liquides intracellulaire (LIC) et extracellulaire (LEC = plasma et liquides interstitiels) ont des osmolalités identiques mais les concentrations des substances dissoutes y sont très différentes : le sodium (Na) est l'élément prépondérant du LEC.

Tableau 6.1. Équilibre hydroélectrolytique.

	Unités	Plasma		Liquide interstitiel		Liquide intracellulaire
Na ⁺	mmol/L	142	↔	145	↔	12
K ⁺	mmol/L	4	↔	4,1	↔	150
Cl ⁻	mmol/L	103	↔	113	↔	4
HCO ₃ ⁻	mmol/L	25	↔	27	↔	12
Protéines	g/L	60		~ 0		25
Osmolalité	mOsm/kg	280		280		280

Excrétion du sodium

La régulation de l'excrétion rénale du Na en fonction des apports se fait à tous les niveaux du néphron. L'adaptation de la quantité filtrée de Na et de sa réabsorption proximale est soumise à la balance glomérulo-tubulaire (influence de la quantité filtrée sur la quantité réabsorbée) et au rétrocontrôle tubulo-glomérulaire (influence du débit tubulaire distal sur le DFG).

Interviennent dans cette régulation essentielle :

- le système rénine angiotensine-aldostérone ;
- le système nerveux sympathique (nerfs rénaux et catécholamines) ;
- le facteur atrial natriurétique (dans les conditions d'hypervolémie).



Tableau 6.2. Contrôle neuro-hormonal de l'excrétion sodée.

NERFS RÉNAUX ET CATÉCHOLAMINES ➤ Activité : ↘ Excrétion NaCl	
↘ Débit filtration glomérulaire	
➤ Sécrétion de rénine	
➤ Réabsorption NaCl au niveau du tube proximal et de l'anse de Henle	
SYSTÈME RÉNINE - ANGIOTENSINE - ALDOSTÉRONE ➤ Activité : ↘ Excrétion NaCl	
➤ Angiotensine II → ➤ Réabsorption NaCl au niveau du tube proximal	
➤ Aldostérone → ➤ Réabsorption NaCl au niveau du tube collecteur	
➤ ADH	
FACTEUR ATRIAL NATRIURÉTIQUE ➤ Sécrétion : ➤ Excrétion NaCl	
➤ Débit filtration glomérulaire	
➤ Sécrétion de rénine	
↘ Sécrétion d'aldostérone	
↘ Réabsorption au niveau du tube collecteur	
↘ Sécrétion ADH	
ADH ➤ Sécrétion : ↘ Excrétion H ₂ O et NaCl	
➤ Réabsorption H ₂ O au niveau du tube collecteur	
➤ Réabsorption NaCl au niveau de l'anse de Henle	
➤ Réabsorption NaCl au niveau du tube collecteur	

Excrétion de l'eau

Le rein permet d'éliminer un volume d'eau très variable dans des urines contenant la même quantité de substances dissoutes : la diurèse peut varier de 0,5 à 10 litres, voire plus (figure 6.9). L'eau peut être réabsorbée à différents niveaux : au niveau du tube proximal, dans l'anse de Henle. C'est dans le tube distal et collecteur que le volume d'eau à excréter va être adapté par l'hormone antidiurétique : ADH ou arginine-vasopressine. Cette hormone d'origine hypophysaire est régulée essentiellement par l'osmolalité plasmatique. L'ADH stimule la réabsorption d'eau par des canaux spécifiques (aquaporines). L'absence d'ADH conditionne une polyurie avec une dilution permanente des urines ou diabète insipide. L'insensibilité du tube rénal à l'ADH provoque un diabète rénal.

Autres électrolytes

Le rein adapte les transferts tubulaires aux entrées pour équilibrer le contenu de l'organisme.

– Le potassium filtré est réabsorbé pour 2/3 au niveau du tube proximal. C'est au niveau du tube collecteur que l'adaptation dépend de l'aldostérone.

– Le rein intervient dans l'excrétion du calcium bien que n'excrétant que 1 % du Ca filtré. La parathormone (PTH) augmente la réabsorption distale.

– L'excrétion des phosphates est régulée au niveau rénal. La réabsorption est influencée par la PTH.

– Le magnésium est le deuxième constituant électrolytique du liquide intracellulaire. Sa réabsorption tubulaire est modulée par la PTH, la volémie, la calcémie et la magnésémie.

► Rôle du rein dans l'équilibre acido-basique

La teneur en ions H⁺ de l'organisme dépend de la production endogène et de l'apport alimentaire d'ions acides non volatiles (environ 1 mmol/kg/jour).

Le rein intervient pour neutraliser à chaque instant cette production et conserver un pH (–log [H⁺]) extracellulaire compris entre 7,35 et 7,43 (valeurs extrêmes compatibles avec la vie : 6,80 à 7,80).

Pour maintenir l'équilibre acido-basique intra- et extracellulaire, le rein dispose de différents mécanismes :

– la réabsorption de bicarbonates : tous les bicarbonates filtrés sont réabsorbés ;

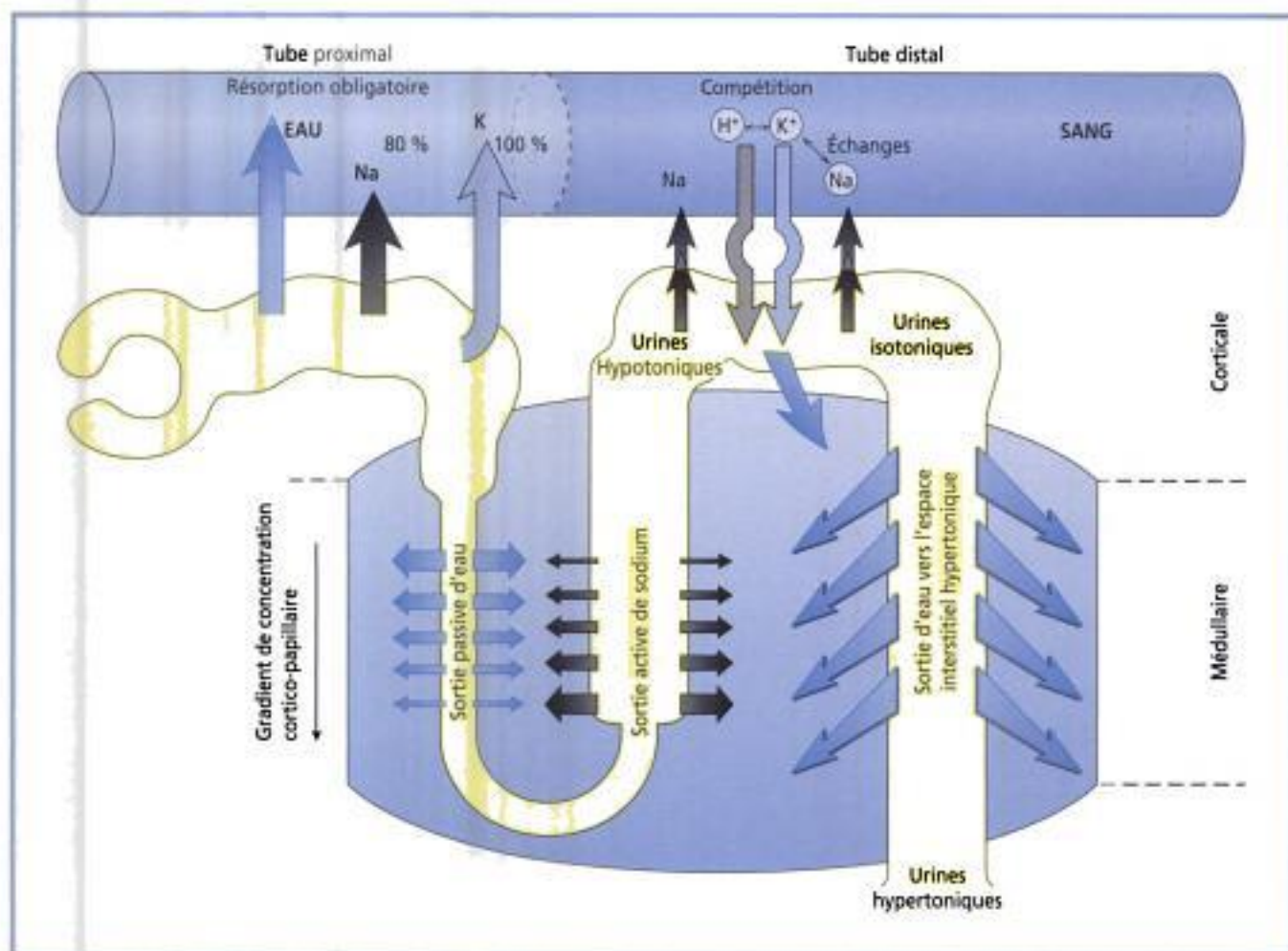


Figure 6.9. Le mécanisme d'excrétion de l'eau et du sel.

– la régénération tubulaire d'ions bicarbonates grâce à l'élimination dans l'urine d'ions H^+ .

► Rôle du rein dans l'excrétion des substances organiques

- **Réabsorption des substances énergétiques.** Le rein « récupère » le glucose filtré, les acides aminés, les petites protéines, qui sont réabsorbés grâce à des transporteurs spécifiques.

- **Excrétion des métabolites inactifs.** Le rein excrète les produits terminaux du métabolisme des protéines, des hormones, du métabolisme énergétique, et de certains médicaments. Les métabolites azotés les plus importants sont :

- La **créatinine** (PM = 113) provient de la créatine musculaire : elle est presque exclusivement

éliminée par filtration glomérulaire, puis soit réabsorbée au niveau proximal, soit sécrétée en fonction de la quantité de créatinine endogène produite, de créatinine apporté par l'alimentation, et de la créatininémie. Les transferts tubulaires se font grâce à un transporteur, dont la régulation est mal connue.

- L'**urée** (PM = 60) est le métabolite terminal du catabolisme protéique (6,25 g de protéines endogènes ou exogènes entraînent la formation de 2 g d'urée en moyenne). Son excrétion par le rein est prédominante : 50 % de la quantité filtrée au niveau du glomérule sont réabsorbés au niveau du tube proximal.

- L'**acide urique** (PM = 168) est le produit de dégradation des purines. Filtré au niveau glomérulaire, il est réabsorbé et sécrété par le tube proximal.

Hidden page



Système nerveux

ANATOMIE

Le système nerveux est constitué des systèmes nerveux central (SNC) (encéphale et moelle épinière) et périphérique (SNP), et du système nerveux végétatif ou autonome (SNA) (figure 7.1). Cette séparation vise à simplifier l'étude de cette structure complexe. En réalité, les différents systèmes ne peuvent être dissociés sur le plan fonctionnel.

► Système nerveux central

Le SNC est constitué de la substance grise et de la substance blanche. La substance grise renferme les corps cellulaires des neurones, centres anatomiques et fonctionnels répartis soit à la surface du cerveau : le cortex cérébral et le cortex cérébelleux, soit plus profondément sous forme de noyaux : les noyaux gris centraux, les noyaux cérébelleux et les noyaux du tronc cérébral. La substance blanche est composée des divers prolongements neuronaux regroupés en faisceaux. Elle est le lieu de passage des grandes voies ascendantes sensibles (qui conduisent les messages captés par les récepteurs périphériques aux centres corticaux qui les analysent) et motrices descendantes (qui transmettent l'ordre moteur du cerveau vers les muscles).

Encéphale

On appelle encéphale toute la partie du système nerveux situé dans la boîte crânienne. L'encéphale est une structure symétrique composée des deux hémisphères cérébraux et de gros noyaux situés dans sa profondeur : les noyaux gris centraux et le thalamus.

Hémisphères cérébraux

Les deux hémisphères cérébraux sont constitués d'une écorce de substance grise : le cortex, et de substance blanche : le centre semi-ovale et la capsule interne (figure 7.2).

Le cortex est divisé en plusieurs lobes par des scissures et des sillons. Les lobes sont subdivisés en régions distinctes : les circonvolutions cérébrales.

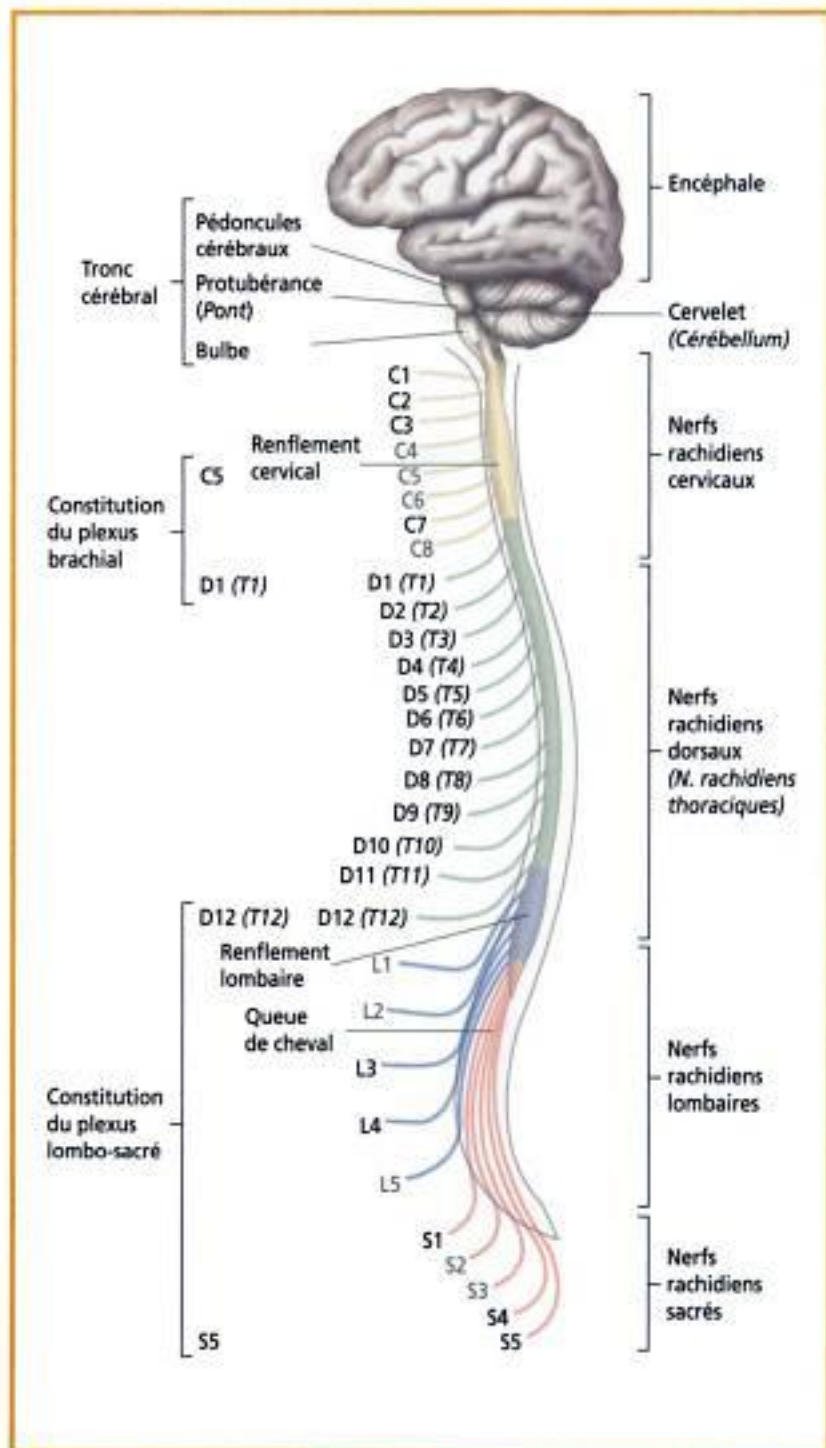


Figure 7.1. Présentation générale du système nerveux.

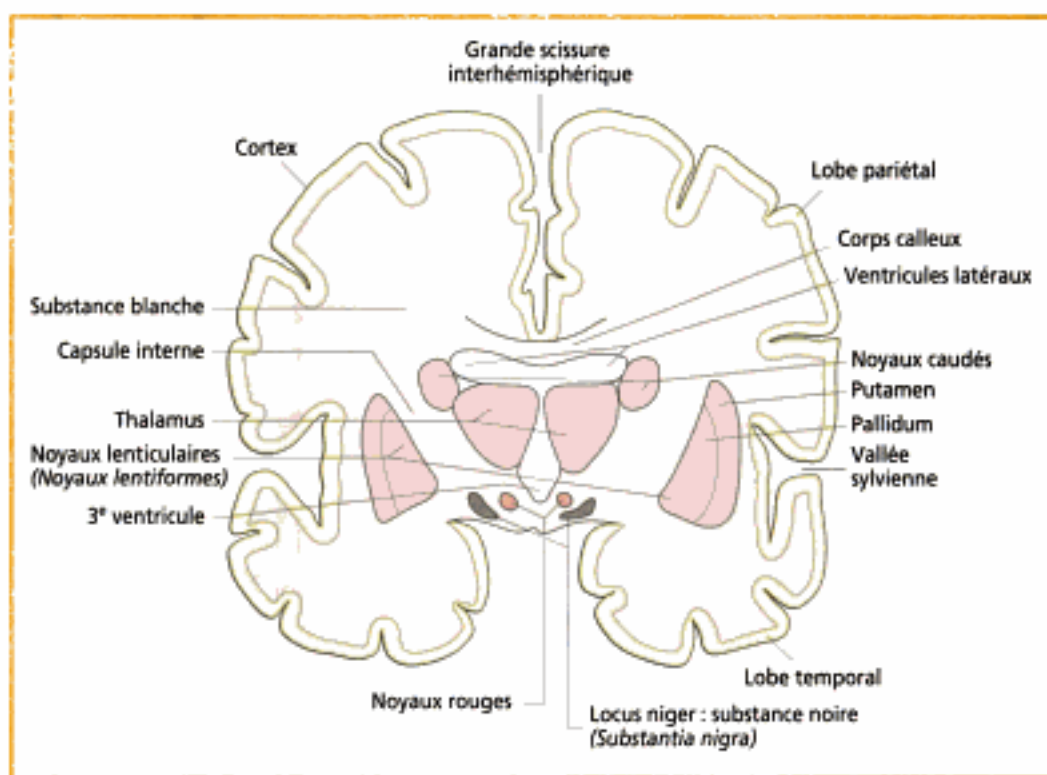


Figure 7.2. Coupe frontale du cerveau : les thalamus et les noyaux gris centraux.

Elles correspondent à des aires fonctionnelles différentes (figure 7.3). On distingue le lobe frontal à la partie antérieure de l'encéphale, le lobe pariétal, le lobe temporal et le lobe occipital en arrière.

Noyaux gris centraux et le thalamus

On distingue le noyau caudé et le noyau lenticulaire constitué du putamen et du pallidum, principaux centres effecteurs moteurs du système extrapyramidal.

Le thalamus est un volumineux noyau qui borde latéralement la cavité du troisième ventricule. La quasi-totalité des afférences sensitives parvient au thalamus qui les intègre et les projette sur le cortex pariétal sensitif.

Il existe des connexions directes entre le thalamus et les noyaux gris centraux qui permettent au système de fonctionner de manière autonome.

Tronc cérébral

Le tronc cérébral est composé de bas en haut du bulbe qui assure la jonction avec la moelle épinière cervicale, de la protubérance et des pédoncules cérébraux qui sont connectés aux hémisphères cérébraux (figure 7.4).

Il est le siège de nombreux centres, notamment des noyaux des nerfs crâniens et de la substance noire ou locus niger (noyau situé sur les voies de la motricité extrapyramidale).

En raison de sa situation anatomique, le tronc cérébral est le lieu de transit et de relais des grandes voies ascendantes et descendantes. Les premières s'enrichissent des fibres émanant des noyaux sensitifs des nerfs crâniens, les secondes des voies extrapyramidales. En raison de la décrossation des voies longues, l'hémicorps droit est « pris en charge » par l'hémisphère gauche et réciproquement, tant sur le plan moteur que sensitif.

Cervelet

Le cervelet est situé à la face postérieure du tronc cérébral auquel il est uni par les pédoncules cérébelleux. Il est recouvert du cortex cérébelleux et comprend des noyaux situés en profondeur (noyau dentelé). En fonction des informations sensitives reçues de la périphérie par l'intermédiaire de structures du tronc cérébral, il régule l'activité motrice des noyaux moteurs des nerfs crâniens et des centres moteurs médullaires.

Hidden page

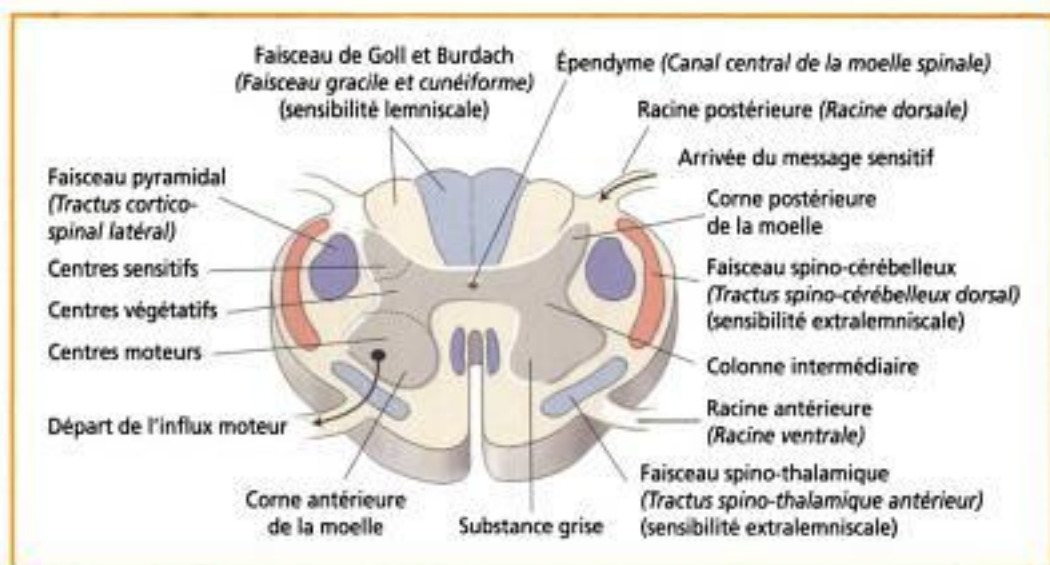


Figure 7.5. La moelle épinière.

Moelle épinière

La moelle épinière est située dans un canal osseux : le canal rachidien et s'étend du bulbe au cône terminal au niveau de la première vertèbre lombaire (figure 7.5).

Les grandes voies motrices et sensitives la traversent et constituent la substance blanche, située en périphérie.

La substance grise médullaire, centrée par le canal de l'épendyme, a une forme de papillon constitué de deux cornes antérieures et postérieures.

Pour comprendre

Sur une coupe transversale de la moelle, on observe la disposition des différents faisceaux : les voies de la sensibilité lemniscale (proprioceptive et superficielle fine) cheminent dans les cordons postérieurs de la moelle et constituent les faisceaux de Goll et Burdach.

La sensibilité extralemniscale est véhiculée par les faisceaux spino-thalamique antérieur (sensibilité superficielle non discriminative) et spinothalamique latéral (sensibilité thermique et algique) tous les deux situés dans le cordon antérieur.

La voie pyramidale siège dans le cordon latéral.

Les voies de la motricité extrapyramidale (faisceaux réticulo-spinal, rubro-spinal, vestibulo-spinal...) se distribuent dans les cordons antérieur et latéral de la moelle.

Méninges

Le système nerveux central est enveloppé de trois tuniques appelées méninges (figure 7.6) :

- la dure-mère, feuillet externe et résistant ;
- l'arachnoïde en situation intermédiaire, richement vascularisée et synthétisant une partie du liquide céphalo-rachidien ;
- la pie-mère, tunique interne au contact du cerveau et de la moelle.

Liquide céphalo-rachidien (LCR)

Le cerveau et la moelle « baignent » dans un liquide stérile appelé liquide céphalo-rachidien (ou LCR). Ce liquide est sécrété par les plexus choroïdes situés dans les ventricules et circule dans l'espace sous-arachnoïdien à la surface du système nerveux central, dans des cavités : les « ventricules » et dans un canal creusé au centre de la moelle : « l'épendyme » (figure 7.7).

Il existe deux ventricules latéraux (situés dans la profondeur des hémisphères cérébraux), un troisième ventricule (V3 : médian, entouré des noyaux gris centraux et du thalamus) et un quatrième ventricule (V4 : également médian, situé dans le tronc cérébral). Les ventricules communiquent

Pour comprendre

La corne antérieure est le siège des corps cellulaires des motoneurones. C'est à ce niveau que le premier neurone moteur issu de l'encéphale fait synapse avec le second motoneurone qui quitte la moelle par la racine antérieure.

Les fibres sensitives atteignent la moelle par la racine postérieure et gagnent la corne postérieure. Celles qui véhiculent la sensibilité extralemniscale s'y terminent et font synapse avec le deuxième neurone sensitif qui croise la ligne médiane et rejoint le faisceau spinothalamique contralatéral. La corne postérieure constitue ainsi le point de départ de la voie extralemniscale.

Les fibres de la sensibilité lemniscale transitent par la corne postérieure, rejoignent le cordon postérieur et entrent dans la constitution des faisceaux de Goll et Burdach.

Hidden page

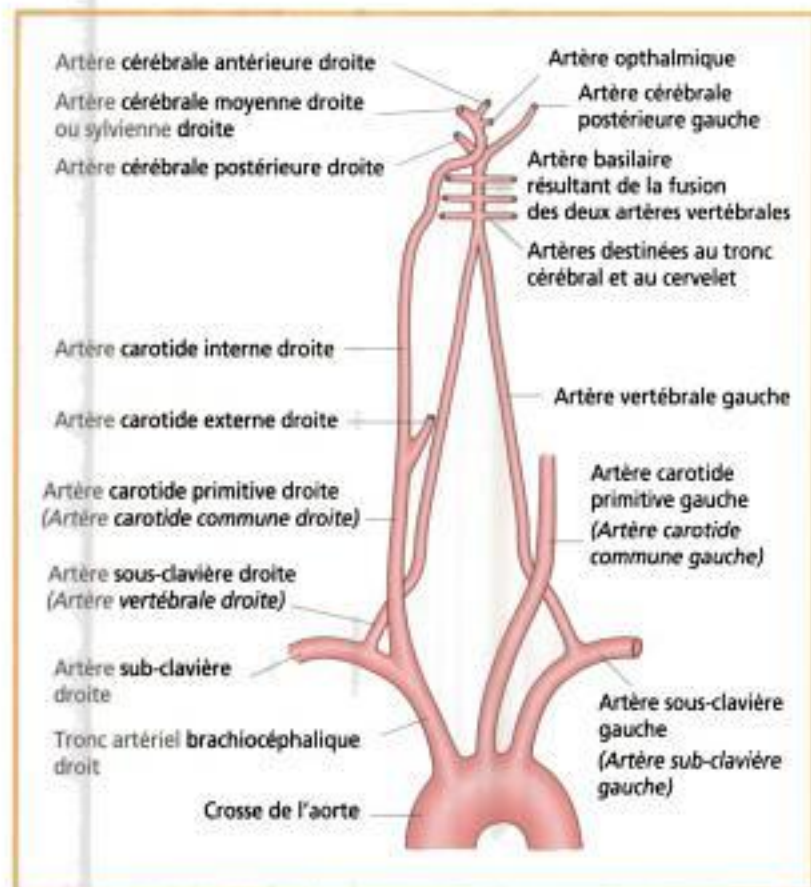


Figure 7.8. Les vaisseaux du cou à destinée cérébrale.

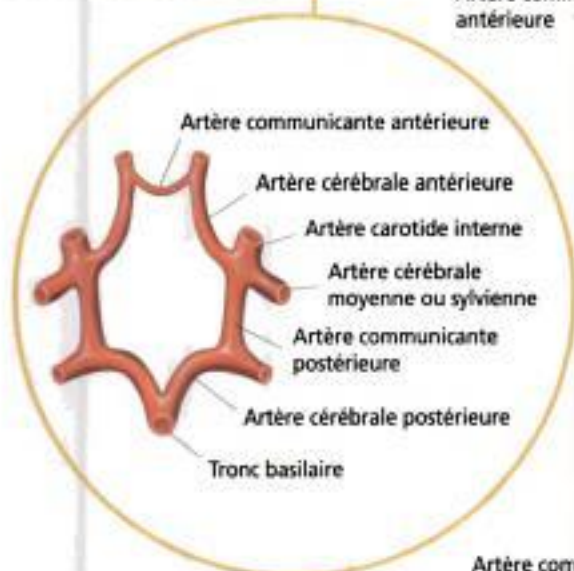
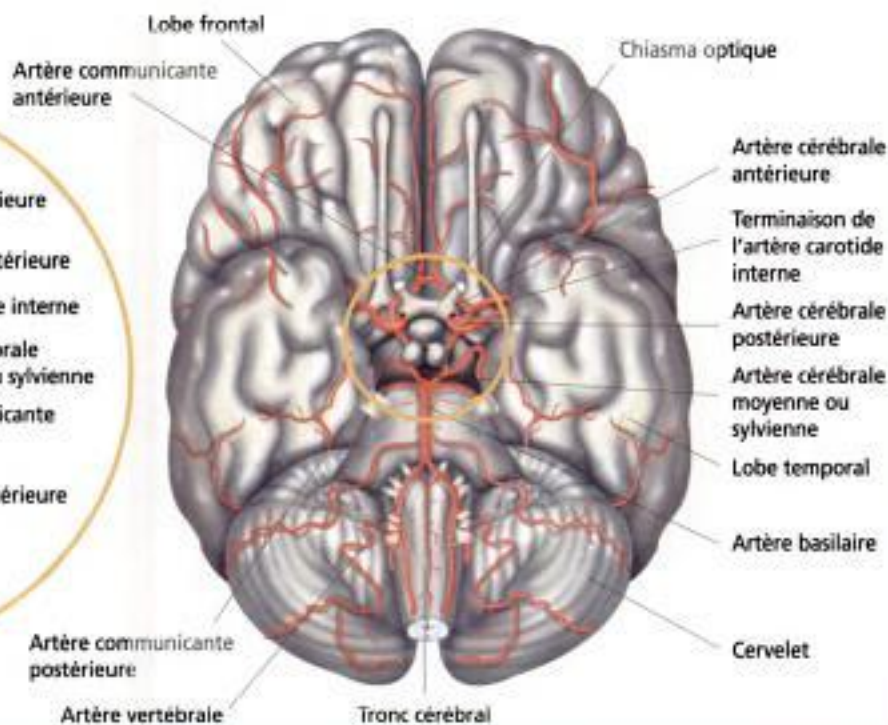


Figure 7.9. Le polygone de Willis sur une vue inférieure de l'encéphale.



par des orifices : le trou de Monro entre les ventricules latéraux et le V3, l'aqueduc de Sylvius entre V3 et V4. Le V4 communique avec le canal de l'épendyme.

Vascularisation cérébrale

On distingue deux systèmes différents de vascularisation qui sont sous la dépendance des artères du cou (figure 7.8) : le système carotidien (artères carotides internes) et le système vertébro-basilaire (artères vertébrales qui s'unissent pour donner naissance au tronc basilaire).

À la base du crâne, les systèmes carotidiens internes droit et gauche et le système vertébro-basilaire sont reliés entre eux par des artères constituant le polygone de Willis (figure 7.9). Les hémisphères cérébraux sont vascularisés par trois artères : deux issues de l'artère carotide interne (artère cérébrale antérieure et moyenne ou sylvienne) et une naissant de la terminaison du tronc basilaire (artère cérébrale postérieure).

Le tronc cérébral et le cervelet sont vascularisés par des branches du tronc basilaire.

Les artères vascularisent chacune des structures cérébrales bien définies qui constituent des territoires vasculaires (figures 7.10 et 7.11).

► Système nerveux périphérique

Le SNP est composé des nerfs rachidiens ou périphériques qui naissent dans la moelle et des nerfs crâniens qui naissent des noyaux du tronc cérébral et sont destinés à la face et au cou. (Il est convenu que les noyaux de ces nerfs rachidiens et crâniens appartiennent au SNP.)

Nerfs rachidiens

Ils comprennent un contingent moteur et un contingent sensitif.

- Un **contingent moteur** constitué des corps cellulaires des motoneurones, de l'émergence des racines ventrales qui se regroupent au niveau cervical et lombosacré pour former les plexus cervicaux et lombosacrés d'où naissent les troncs nerveux destinés aux muscles des membres supérieurs et inférieurs. (Au niveau du rachis dorsal, les racines ne s'articulent pas entre elles et constituent les nerfs intercostaux.)

- Un **contingent sensitif** constitué des récepteurs sensitifs d'où partent des fibres sensitives regroupées en troncs nerveux. Le corps cellulaire des neurones sensitifs est situé dans les ganglions rachidiens postérieurs. Les fibres sensitives forment des plexus à la racine des membres puis gagnent la corne postérieure de la moelle par les racines dorsales.

Remarque : les plexus sont donc constitués de l'intrication des fibres nerveuses motrices et sensitives issues des racines adjacentes. De même, les troncs nerveux sont moteurs purs, sensitifs purs ou mixtes.

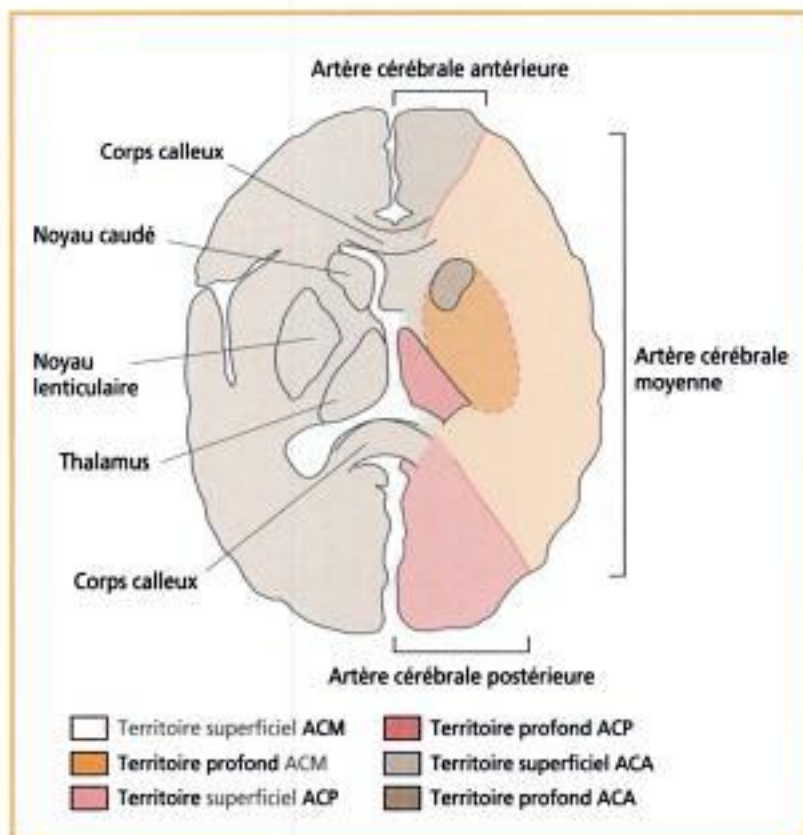


Figure 7.10. Les territoires artériels sur une coupe horizontale des hémisphères cérébraux passant par les noyaux gris centraux.

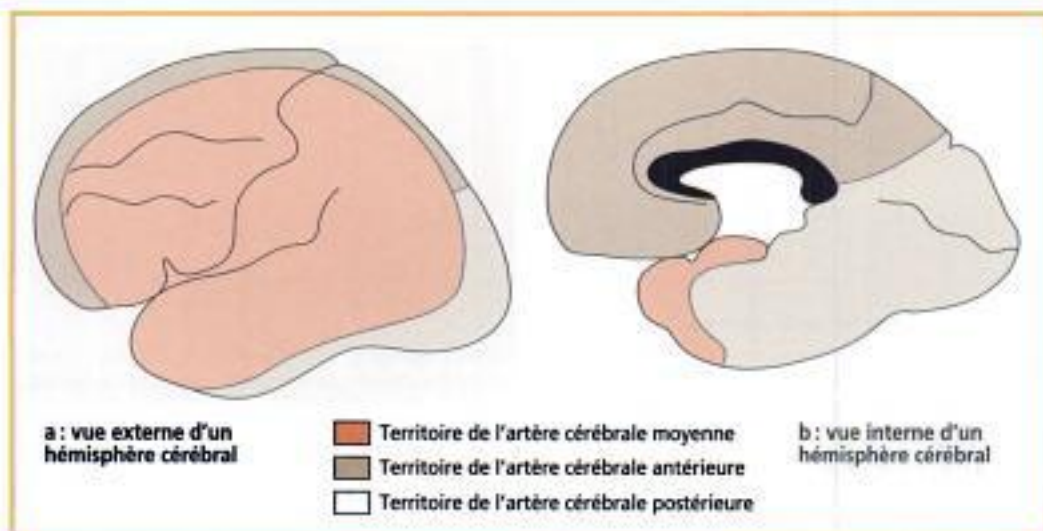


Figure 7.11. Les territoires artériels.



Nerfs crâniens

Il existe 12 paires de nerfs crâniens numérotés de I à XII :

- les nerfs sensoriels : le nerf olfactif (I), le nerf optique (II) et la huitième paire crânienne (VIII) constituée d'un contingent cochléaire (audition) et d'un contingent vestibulaire (équilibre);
- les nerfs moteurs : les nerfs oculomoteurs (III, IV et VI) permettent les mouvements des yeux; le

nerf facial (VII) assure la motricité de la face et le grand hypoglosse (XII) celle de la langue;

– les nerfs sensitifs : le nerf trijumeau (V) assure l'innervation sensitive de la face;

– les nerfs mixtes : les neuvième (IX), dixième (X) et onzième (XI) paires crâniennes prennent en charge la motricité et la sensibilité de la sphère oro-pharyngo-laryngée. Le X a de plus une fonction végétative pour les organes cardio-respiratoires et les viscères.

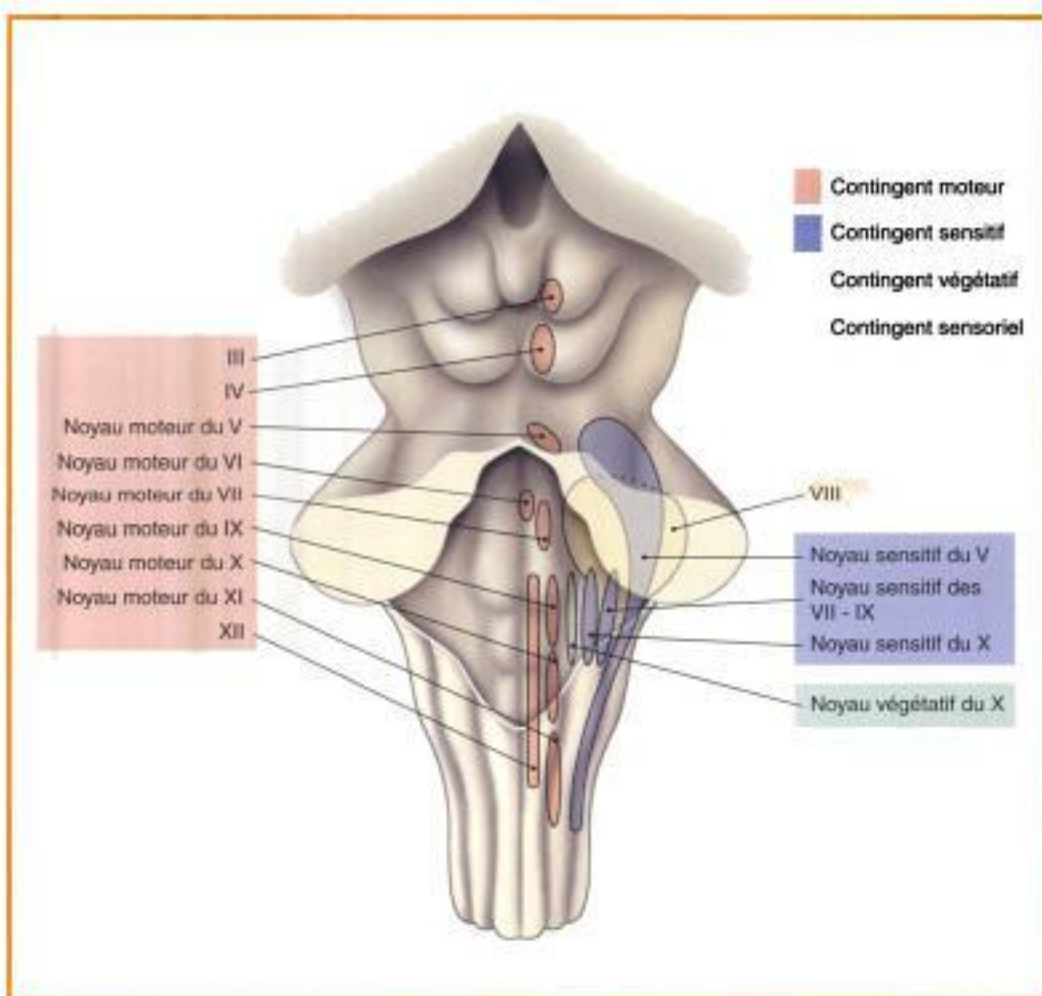


Figure 7.12. Noyaux des nerfs crâniens.

À l'exception des 2 premières paires (I ou nerf olfactif, II ou nerf optique), les nerfs crâniens ont leurs noyaux situés dans le tronc cérébral : les noyaux des nerfs III (ou nerf oculomoteur commun) et IV (ou nerf pathétique) au niveau des pédoncules cérébraux; des nerfs V (nerf trijumeau), VI (nerf oculomoteur externe), VII (nerf facial) et VIII (nerf auditif ou cochléo-vestibulaire) au niveau de la protubérance; et des nerfs IX (nerf glosso-pharyngien), X (nerf pneumogastrique), XI (nerf spinal) et XII (nerf grand hypoglosse) au niveau du bulbe.

Les noyaux sont alignés de telle sorte que l'on décrit de l'intérieur vers l'extérieur : une colonne motrice, proche de la ligne médiane, une colonne sensitive et une colonne végétative.



► Système nerveux autonome ou végétatif

Le système nerveux autonome ou végétatif est constitué de deux systèmes : le système nerveux orthosympathique et le système nerveux parasympathique (figure 7.13).

Ils sont constitués de :

– centres situés au niveau du tronc cérébral et de la moelle ;

– neurones dits préganglionnaires, cholinergiques (figure 7.14) ;

– ganglions situés dans la chaîne sympathique latéro-vertébrale, à distance de l'organe qu'ils innervent pour le système nerveux orthosympathique, au niveau de cet organe pour le système nerveux parasympathique ;

– neurones postganglionnaires cholinergiques dans le système nerveux parasympathique, adrénérgiques dans le système nerveux orthosympathique.

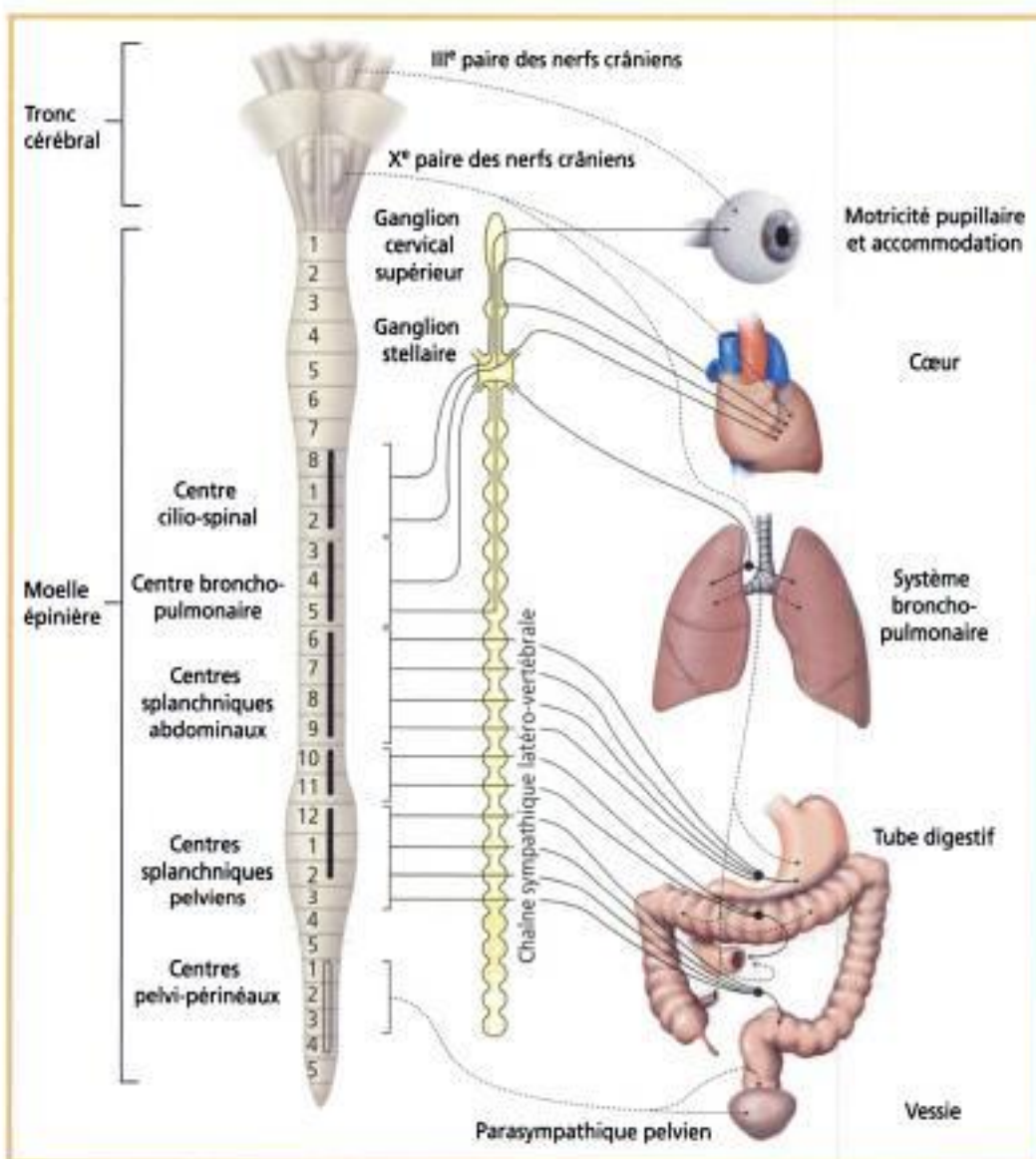


Figure 7.13. Les centres végétatifs médullaires.

En traits pleins : l'ortho-sympathique ; en traits pointillés : le parasympathique.



PHYSIOLOGIE

► Physiologie de la cellule nerveuse

La structure élémentaire est la cellule nerveuse ou neurone (figure 7.14). Elle est constituée d'un corps cellulaire où naît l'influx nerveux. Les axones conduisent l'influx du corps cellulaire vers la périphérie. Les dendrites sont les « antennes réceptrices » et conduisent l'influx de la périphérie vers le corps cellulaire (figure 7.15).

Les axones sont entourés ou non d'une gaine de myéline synthétisée par les oligodendrocytes au

niveau du système nerveux central et par les cellules de Schwann au niveau du système nerveux périphérique (figure 7.16). Ils sont regroupés en voies ou faisceaux (SNC) et en nerfs (SNP).

► Physiologie de la motricité

Système pyramidal

L'« ordre » moteur est donné par le cortex frontal (aire frontale ascendante). Il est transmis par la grande voie pyramidale qui traverse la capsule interne et gagne les noyaux moteurs des nerfs crâniens dans le tronc cérébral (innervation motrice de la face) et les motoneurons dans la corne

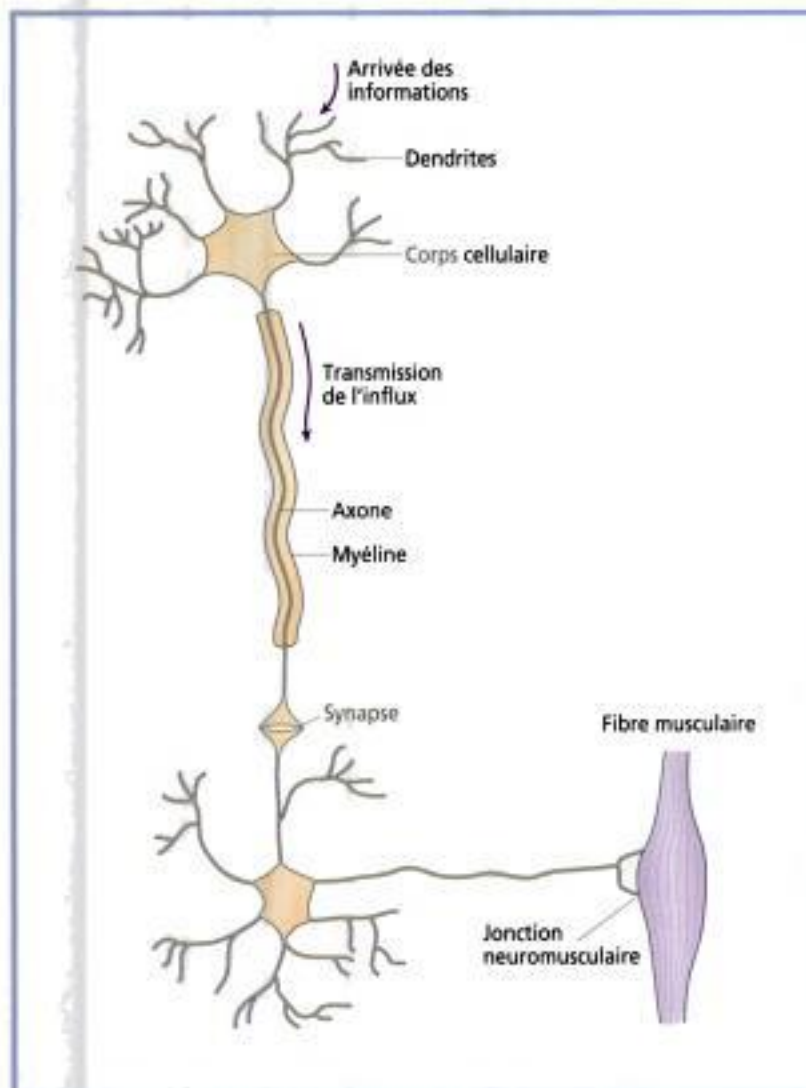


Figure 7.14. Schéma d'un neurone et d'une synapse.

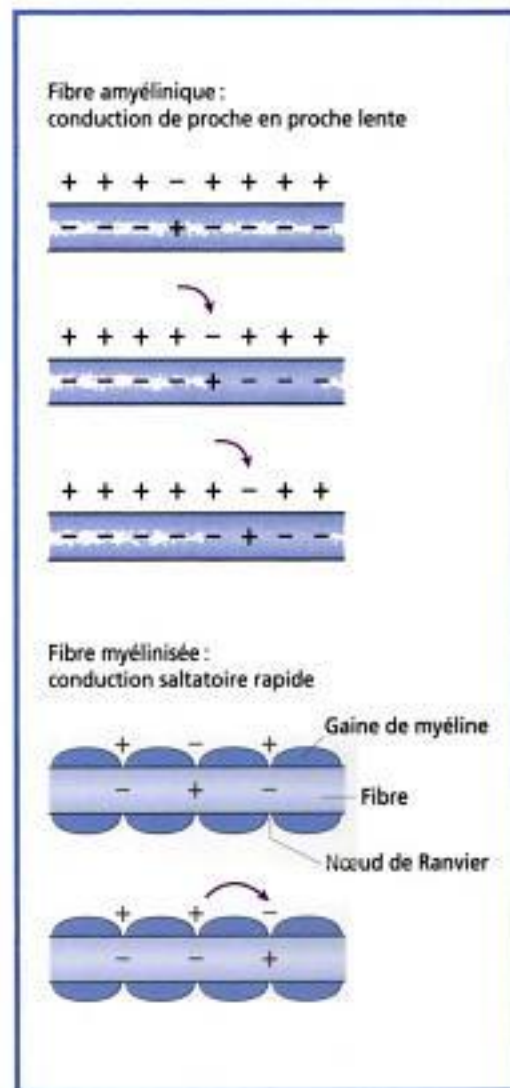


Figure 7.15. La conduction le long de la fibre nerveuse.

Hidden page

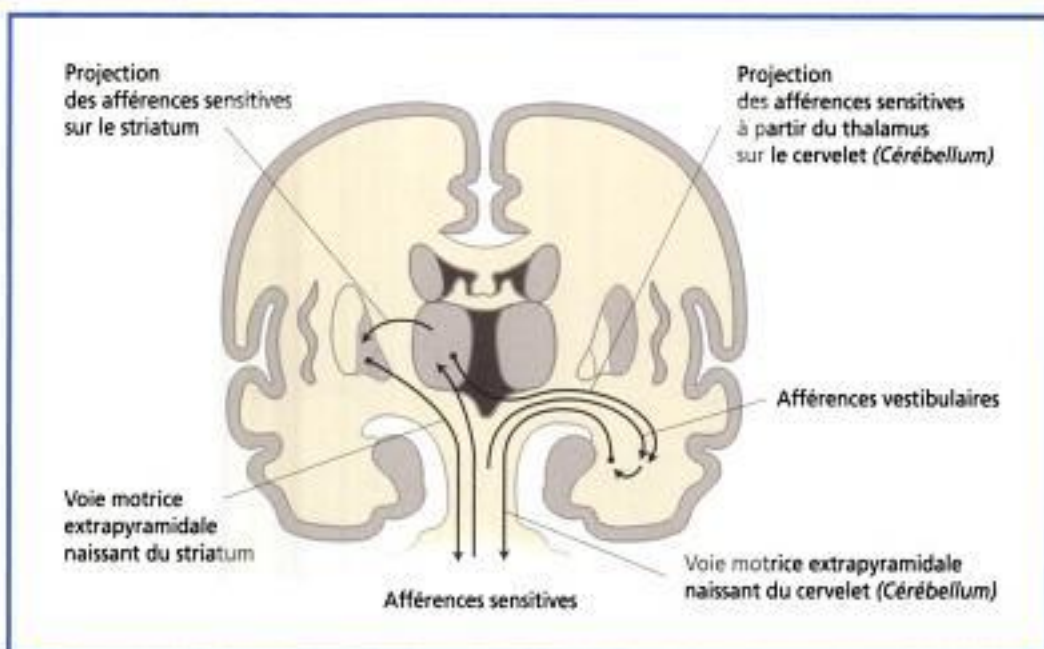


Figure 7.18. Le système extrapyramidal.

Système extrapyramidal

La motricité est en permanence régulée par des systèmes plurisynaptiques à conduction plus lente : les voies extrapyramidales (figure 7.18). Le cervelet et les noyaux gris centraux en sont le point de départ. Cette fonction n'est pas consciente.

Pour comprendre

– Les neurones du locus niger (ou substance noire) sont connectés aux noyaux gris centraux et principalement au striatum. Ils activent le striatum grâce à un neurotransmetteur : la dopamine. Cette boucle nigro-striée entretient, régule et assure l'automatisme des mouvements et des postures.

– Le cervelet coordonne l'action des différents muscles au cours du mouvement volontaire. Il intervient dans l'équilibre et la marche en adaptant le tonus musculaire et les mouvements en fonction des informations sensibles profondes reçues en permanence : position des membres et des segments de membres les uns par rapport aux autres (sensibilité proprioceptive) et position et déplacement de la tête et du cou (système vestibulaire).

Toutes les fibres motrices, qu'elles appartiennent au système pyramidal ou extrapyramidal, se terminent au niveau des motoneurones de la corne antérieure et se répartissent aux différents étages médullaires.

► Physiologie de la sensibilité

Il existe différents types de sensibilités. À chacun correspond un type de fibre nerveuse, de voie de transmission jusqu'au cerveau et un type de récepteur périphérique situé sur la peau, les muqueuses, les muscles, les tendons, les articulations, les vaisseaux ou les viscères. On distingue deux systèmes anatomiquement et fonctionnellement différents :

- Le système lemniscal est une voie directe et rapide véhiculant la sensibilité superficielle fine épicritique et la sensibilité profonde ou proprioceptive. La sensibilité lemniscale est véhiculée du récepteur périphérique vers les racines postérieures de la moelle (faisceaux de Goll et Burdach) et fait relais au niveau du bulbe (figure 7.19). Le second neurone croise la ligne médiane et atteint le thalamus spécifique. Le troisième neurone (radiations thalamiques) rejoint le cortex pariétal sensitif (aire pariétale ascendante) contralatéral au récepteur.

- Le système extralemniscal véhicule les sensibilités thermoalgique, tactile grossière non discriminative et proprioceptive inconsciente. C'est un système plurisynaptique à conduction plus lente. Les fibres périphériques se terminent dans la corne postérieure de la moelle où elles font synapse avec diverses fibres (figure 7.20).



La sensibilité thermique et algique est transportée par le faisceau néospinothalamique qui croise au niveau médullaire, traverse le tronc cérébral sans faire relais et atteint le thalamus puis le cortex cérébral.

La sensibilité tactile grossière gagne le tronc cérébral par le faisceau spino-réticulo-thalamique et se projette sur la substance réticulée du tronc cérébral. Les fibres gagnent ensuite le thalamus non spécifique.

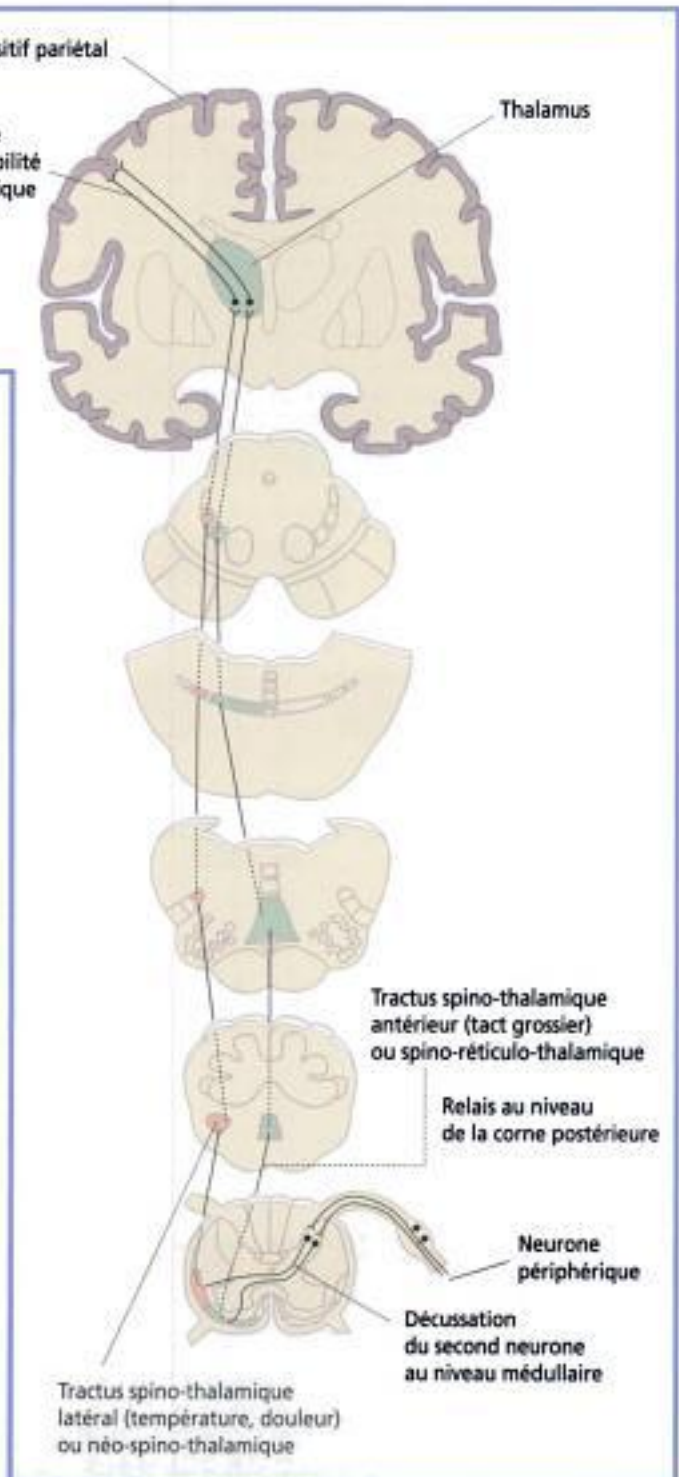
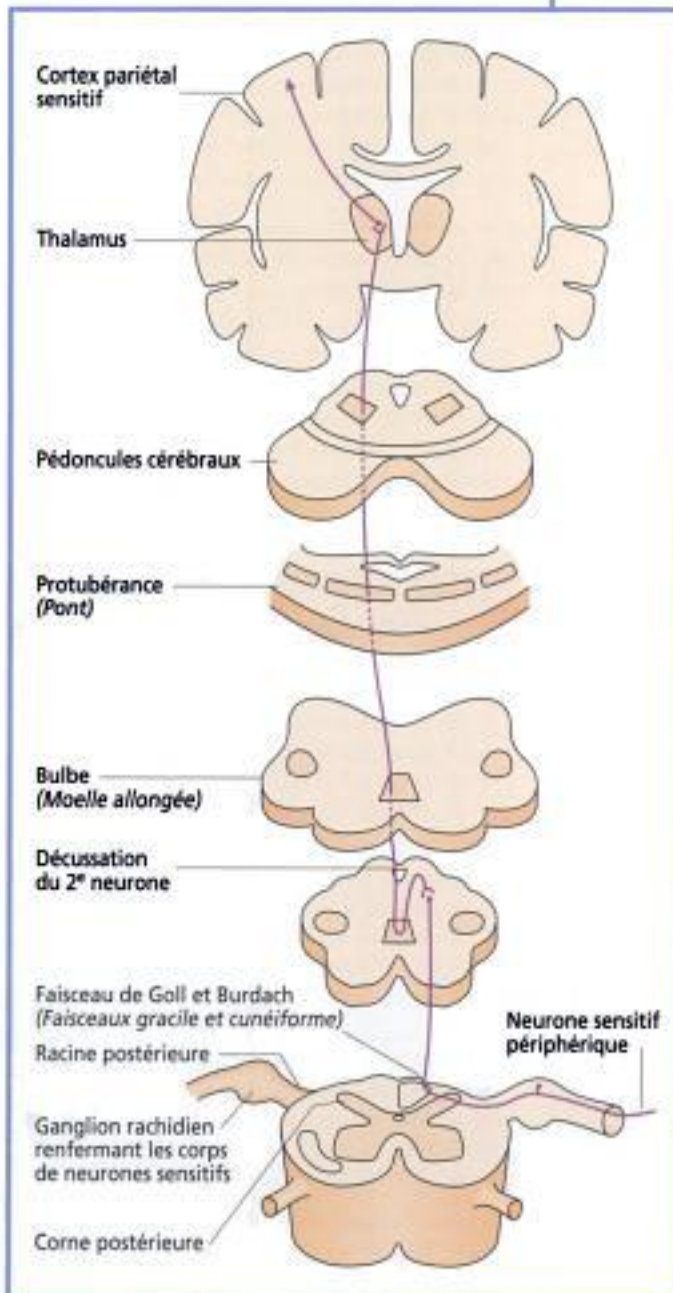


Figure 7.20. Schéma des voies de la sensibilité extralemniscale (les voies spino-cérébelleuses ne sont pas représentées).

Figure 7.19. Schéma des voies de la sensibilité lemniscale.

Hidden page

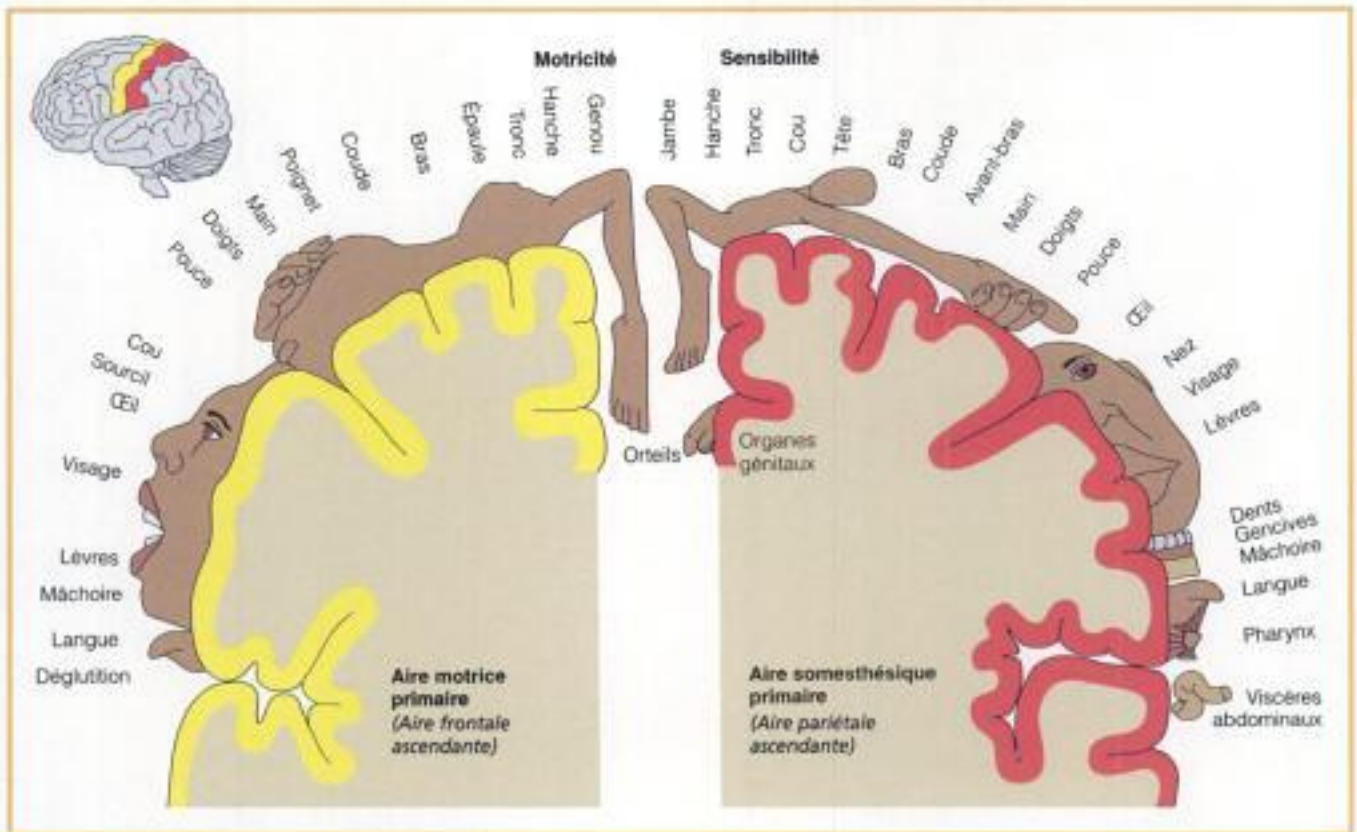


Figure 7.22. Aires motrices et somesthésiques

L'« ordre » moteur émane du cortex moteur primaire, dans l'aire frontale ascendante. Chaque région du corps est « commandée » par une région correspondante du cortex. C'est la « somatotopie motrice ». De même, la sensibilité de chaque région du corps est projetée sur une région correspondante à un niveau de l'aire sensitive primaire, sur le cortex pariétal ascendant : c'est la « somatotopie somesthésique ».



Vie de relation : organes des sens

Vision

Plusieurs structures participent à l'élaboration d'une fonction visuelle de qualité.

L'œil ou globe oculaire constitue l'organe récepteur de la vision (figure 8.1). Les voies optiques comprennent l'ensemble des neurones qui transmettent l'information visuelle de la rétine jusqu'au cortex cérébral occipital. Les muscles oculomoteurs assurent la motilité coordonnée des deux yeux. La conjonctive, les voies lacrymales et les paupières sont nécessaires à une fonction visuelle normale. Nous décrirons l'anatomie et la physiologie de chacune de ces structures.

ŒIL OU GLOBE OCULAIRE

Il a la forme d'une sphère de 23 mm de diamètre antéro-postérieur. Il pèse 7 g, son volume est de

6,5 cm³. Il est contenu dans la partie antérieure de l'orbite.

L'œil est formé d'une paroi et d'un contenu.

► Paroi

La paroi postérieure du globe oculaire est formée de trois tuniques concentriques : de l'extérieur vers l'intérieur, la sclère (ou sclérotique), la choroïde et la rétine.

- La tunique la plus externe est la **sclère**, coque résistante, fibreuse, blanche, constituant les 4/5 postérieurs du globe. Sa surface externe présente les insertions des muscles oculomoteurs. Elle se prolonge en avant par la cornée parfaitement transparente qui ferme l'œil en avant comme un hublot. La zone de transition entre sclère et cornée est appelée **limbe scléro-cornéen**.

- La tunique intermédiaire est la **choroïde**, qui se poursuit en avant par le corps ciliaire, et l'iris.

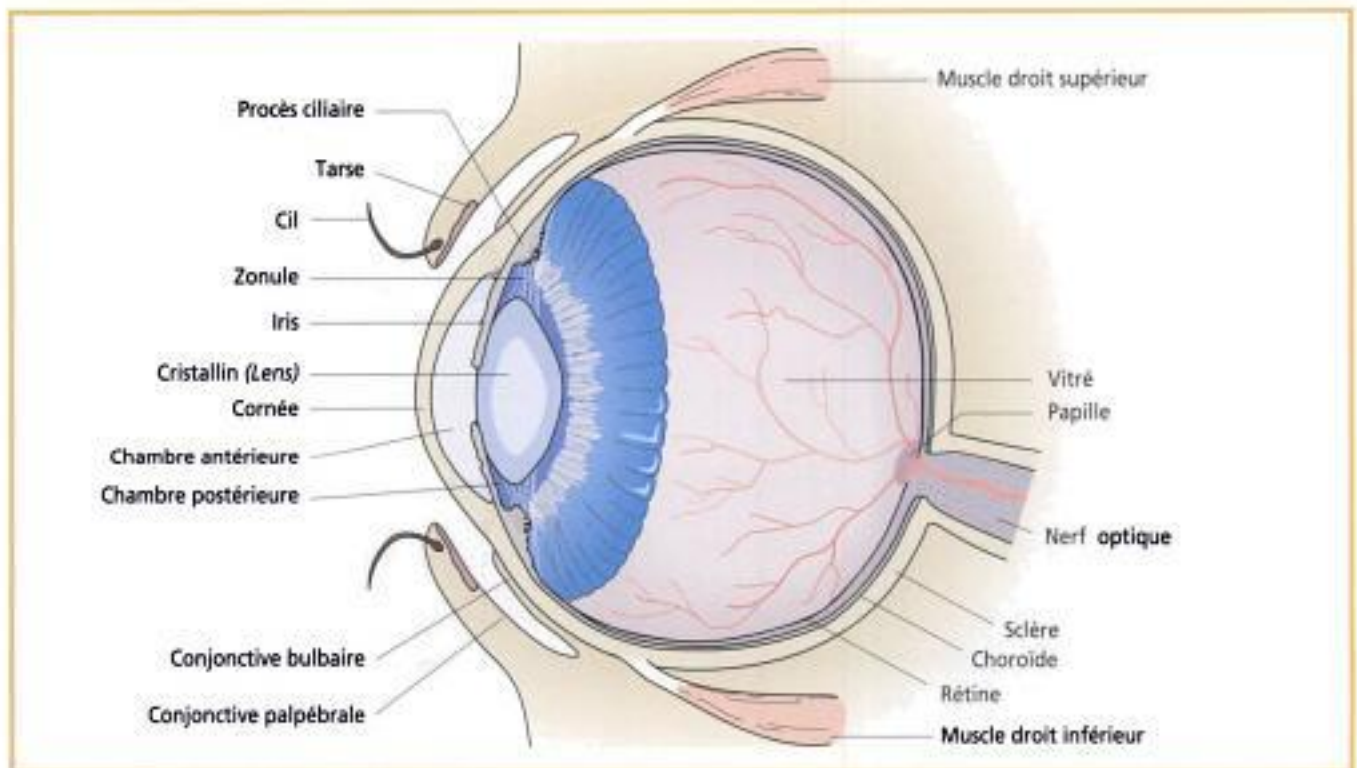


Figure 8.1. Coupe sagittale du globe oculaire.



La choroïde est très riche en vaisseaux sanguins disposés en couches superposées responsables de la coloration orangée du fond d'œil à l'examen ophtalmoscopique.

Le corps ciliaire sécrète l'humeur aqueuse grâce à ses procès ciliaires, et dirige l'accommodation, grâce au muscle ciliaire.

L'iris est plus ou moins pigmenté, prenant une couleur bleu, vert ou marron. Il est perforé en son centre par la **pupille**. Celle-ci s'adapte à l'intensité de la lumière : si la lumière est vive, la pupille se rétrécit (myosis); si la lumière est faible, la pupille se dilate (mydriase). L'iridoconstriction est sous la dépendance du système parasympathique annexé au nerf moteur oculaire commun (III); l'iridodilatation est sous la dépendance du système sympathique.

- La tunique la plus interne est la **rétine** (figure 8.2). Elle est située entre la choroïde et le vitré.

Pour comprendre

La rétine est la structure essentielle de l'œil car elle reçoit les impressions lumineuses et les transmet au cerveau par les voies optiques. Elle comprend 10 couches de cellules dont les principales sont représentées sur la figure 8.2. La couche des photorécepteurs a pour rôle d'assurer la transduction visuelle : c'est-à-dire la transformation de l'énergie des rayons lumineux qui arrivent sur la rétine, en énergie électrique transmise au cerveau par les voies optiques.

On distingue deux types de photorécepteurs : les cônes (responsables de la vision diurne et de la vision des détails et des couleurs) et les bâtonnets (utilisés pour la vision dans l'obscurité).

Les photorécepteurs sont connectés aux cellules bipolaires, cellules de transition, elles-mêmes reliées aux cellules ganglionnaires qui se réunissent au niveau de la papille pour former le nerf optique (figure 8.2).

Contenu

Il est constitué des milieux transparents de l'œil que les rayons lumineux doivent traverser après la cornée, d'avant en arrière pour atteindre la rétine.

- **L'humeur aqueuse**, liquide incolore, occupe l'espace situé entre la cornée et le cristallin. Cet espace est divisé en chambres antérieure et postérieure par l'iris. L'humeur aqueuse est sécrétée par les procès ciliaires du corps ciliaire dans la chambre postérieure, traverse l'orifice pupillaire pour gagner la chambre antérieure, puis est évacuée par le trabéculum et le canal de Schlemm, dans l'angle irido-cornéen, vers les veines épisclérales.

- **Le cristallin** est une lentille biconvexe, convergente d'une puissance d'environ 20 dioptries, située entre l'iris en avant, et le vitré en arrière. Il est maintenu en place par la zonule de Zinn. Il mesure 10 mm de diamètre et 5 mm d'épaisseur. Il est constitué d'un noyau, d'un cortex et d'une capsule. C'est l'élément le plus important de l'appareil dioptrique de l'œil.

- **Le vitré** est un gel transparent, qui remplit la partie postérieure de l'œil, entre le cristallin et la rétine. Il représente en volume les 2/3 du globe oculaire. Il est enfermé dans une membrane, la hyaloïde.

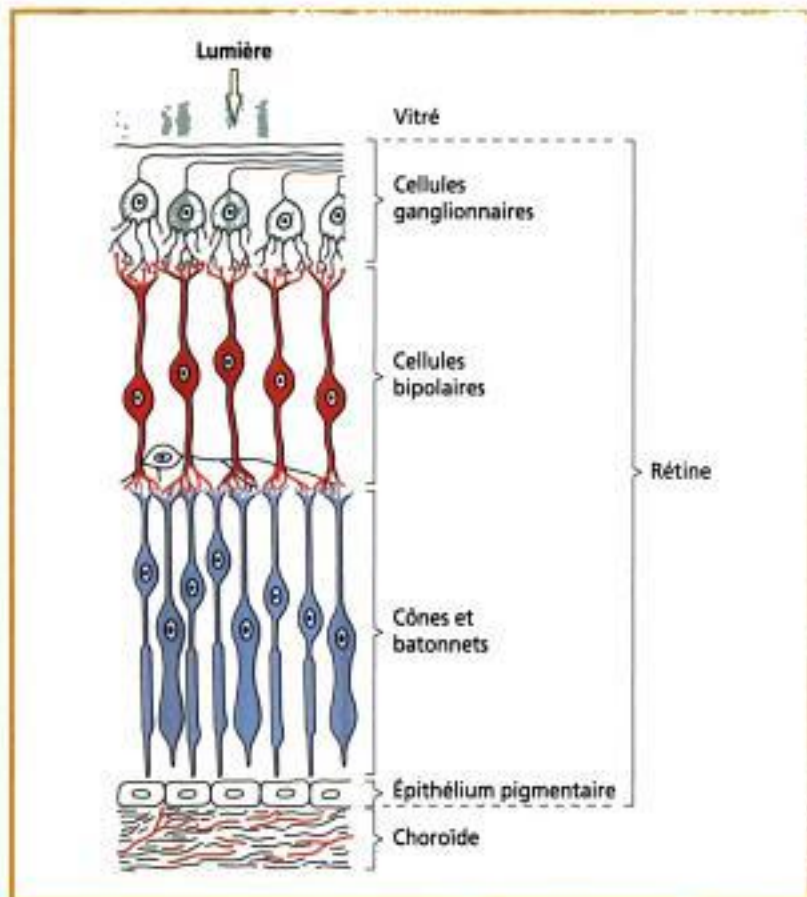


Figure 8.2. Structure de la rétine.



À RETENIR

La face interne de la rétine est bien vue par l'examen du fond d'œil; elle est transparente laissant voir à travers la choroïde orangée.

Deux zones ont un aspect particulier au fond d'œil (figure 8.3) :

La papille : tâche de 1,5 mm de diamètre, elle est à la fois le point de convergence des fibres du nerf optique, et le point de passage des vaisseaux rétiniens qui vont tapisser la rétine (artère, veine centrale de la rétine et leurs branches de division).

La macula est située exactement au pôle postérieur de l'œil. C'est elle qui assure, grâce à ses cônes, l'acuité visuelle, la vision des couleurs et la vision diurne. Le reste de la rétine, comprenant principalement des bâtonnets, assure la perception du champ visuel et la vision dans l'obscurité.

Pour comprendre

L'élasticité du cristallin lui permet de changer son rayon de courbure selon que l'œil est utilisé pour la vision de loin ou pour la vision de près. Au repos, le cristallin est réglé pour la vision de loin. En vision de près, le muscle ciliaire se contracte, ce qui augmente la convexité du cristallin et donc sa puissance de convergence. Avec l'âge, l'élasticité du cristallin diminue, réduisant ainsi le pouvoir d'accommodation à partir de 45 ans : c'est la presbytie. Le sujet est gêné en vision de près :

- s'il ne portait pas de lunettes auparavant, il doit en porter pour voir de près;

- s'il portait déjà des lunettes auparavant, il doit porter des verres bifocaux (progressifs ou double foyer). La partie haute des verres bifocaux sert à la vision de loin et la partie basse, de puissance différente, sert à la vision de près.

L'opacification du cristallin est très fréquente chez le sujet âgé : c'est la cataracte.

VOIES OPTIQUES

Les voies optiques représentent l'ensemble des structures chargées de conduire l'information de l'œil au cortex visuel.

Elles comprennent le nerf optique, le chiasma optique, la bandelette optique, le corps genouillé latéral, les radiations optiques et le cortex visuel occipital (figure 8.4).

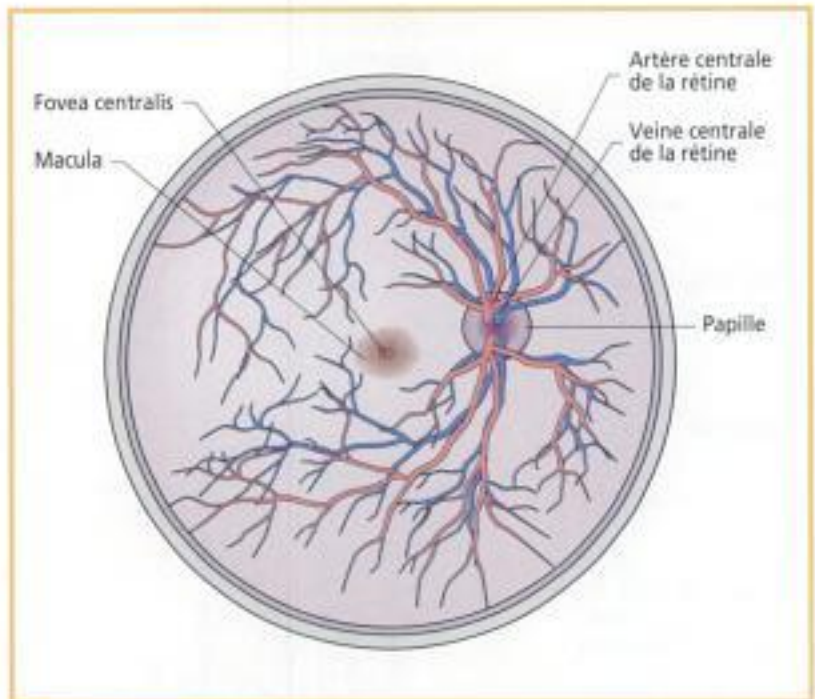


Figure 8.3. Schéma d'un fond d'œil.

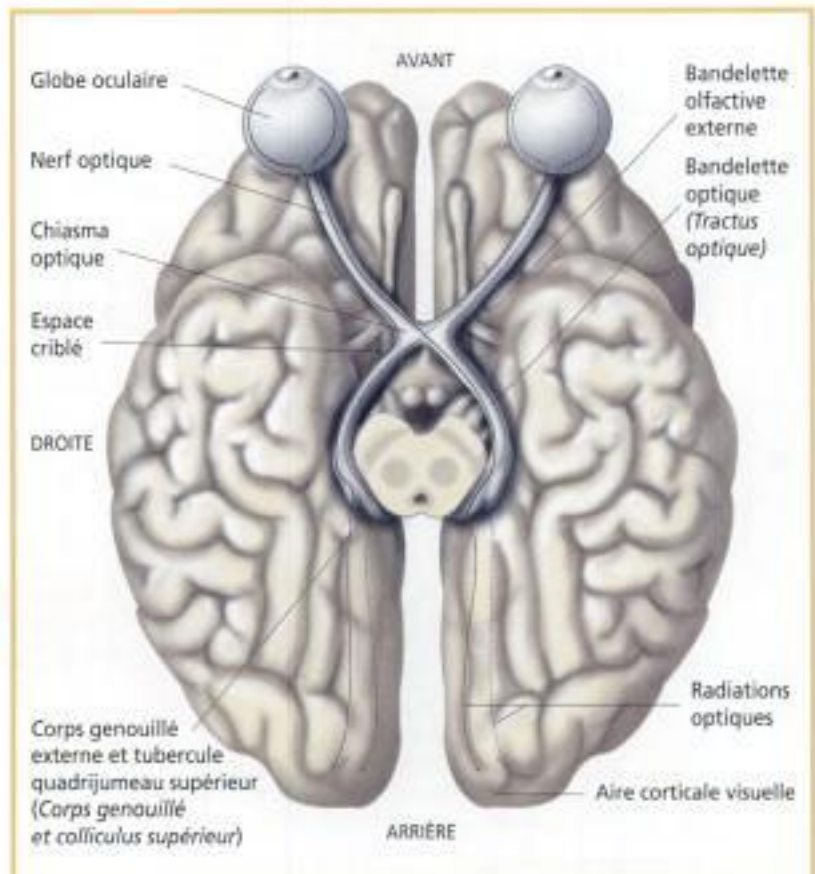


Figure 8.4. Les voies optiques (vue inférieure de l'encéphale).

Hidden page



cheminent dans les canalicules lacrymaux supérieurs et inférieurs. Ces deux canalicules se réunissent au niveau du canal d'union unique qui communique avec le sac lacrymal. Le canal lacrymo-nasal fait suite au sac lacrymal et débouche dans les fosses nasales.

► **Muscles oculomoteurs**

Ils sont au nombre de six : quatre muscles droits (interne, externe, supérieur, inférieur), et deux obliques (grand et petit) (figure 8.6). Ils s'insèrent sur la sclère, de 5 à 8 mm du limbe scléro-cornéen, et assurent toute la motilité oculaire. Le droit externe tourne l'œil en dehors, le droit interne en dedans, le droit supérieur en haut, le droit inférieur en bas ; le muscle grand oblique porte l'œil en bas et en dedans ; c'est le muscle de la lecture. Le petit oblique porte l'œil en haut et en dedans.

Pour comprendre

Les voies lacrymales sont normalement perméables : elles conduisent les larmes dans les fosses nasales.

Odorat

ANATOMIE

Le nez et les sinus de la face forment la partie supérieure et purement respiratoire des voies aéro-digestives supérieures. On décrit plusieurs parties :

- les **fosses nasales** : constituées de deux cavités symétriques séparées sagittalement par la cloison nasale et situées au milieu du massif facial supérieur entre la base du crâne en haut et en arrière et la cavité buccale en bas ;
- les fosses nasales sont protégées en avant par la **pyramide nasale** ostéo-cartilagineuse ;
- autour des fosses nasales sont situés les différents **sinus de la face** communiquant avec les fosses nasales par des orifices appelés ostiums.

► **Pyramide nasale**

Partie externe, visible du nez, elle est constituée d'os et de plusieurs cartilages pairs et symétriques recouverts de muscles et de peau. On décrit plusieurs parties (figures 8.7 et 8.8) :

- une base formée par les deux **os propres du nez** qui sont attachés à l'os frontal ;
- deux faces latérales réunies par une arête et formées par les **cartilages triangulaires** ;
- la pointe constituée par les **cartilages alaires**, mobiles, permettant de modifier l'ouverture des narines.

► **Fosses nasales**

Elles forment deux couloirs sagittaux, plus hauts que larges, communiquant en avant avec l'extérieur par les **narines** et en arrière avec le cavum (ou rhinopharynx) par les **choanes** (figure 8.7).

On décrit plusieurs faces :

- Un **plancher** horizontal qui correspond au palais osseux.
- Un **plafond** (ou toit) formé :
 - en avant par la très fine **lame criblée de l'ethmoïde** laissant passer les filets olfactifs et située directement sous l'étage antérieur de la base du crâne,
 - en arrière par le **sinus sphénoïdal**.
- Une **cloison médiane** cartilagineuse en avant jusqu'à la columelle, osseuse en haut (lame perpendiculaire de l'ethmoïde) et en arrière (os vomer).

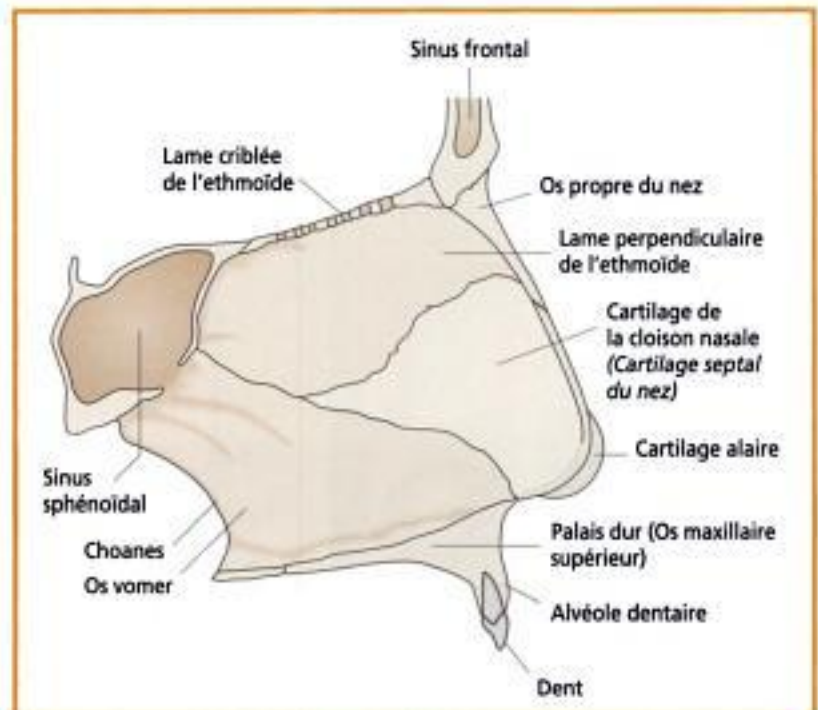


Figure 8.7. Vue de profil de la fosse nasale droite (septum nasal).

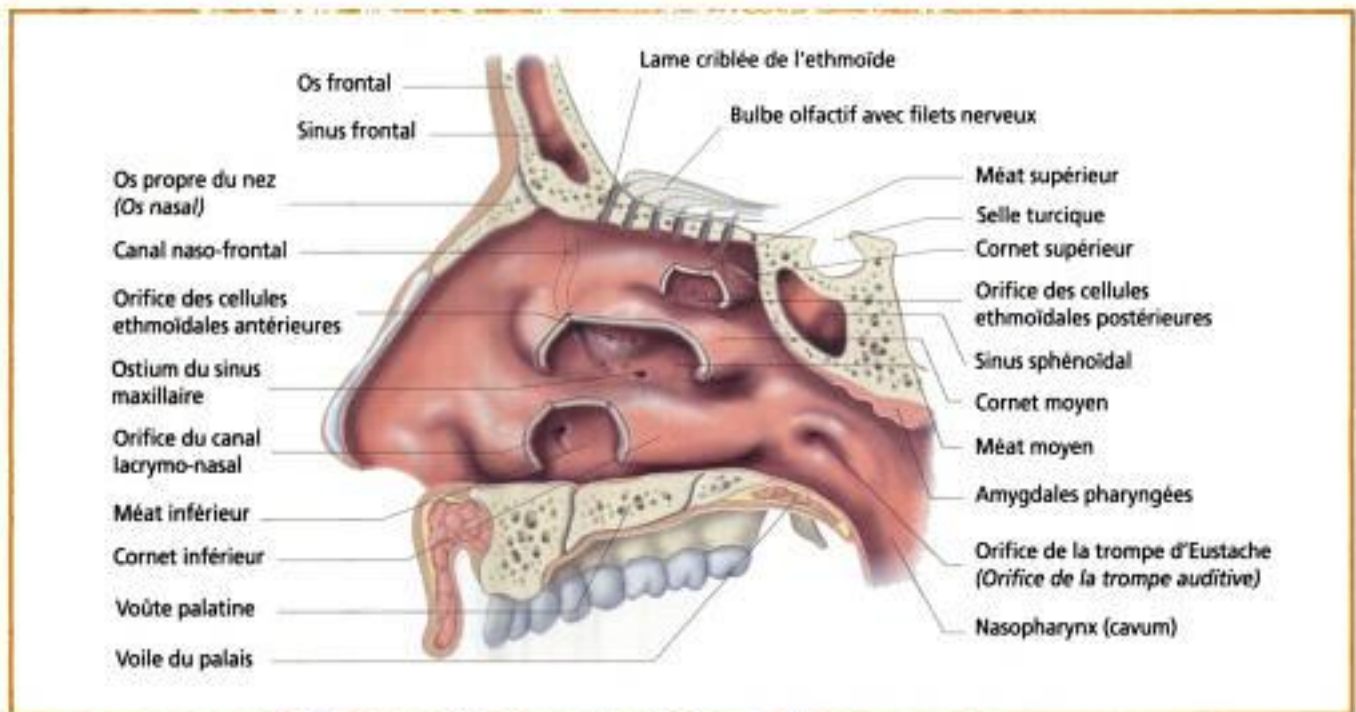


Figure 8.8. La paroi latérale de la fosse nasale droite (après résection partielle des trois cornets).

- La face externe est complexe (figure 8.8). Elle contient des éléments importants dans la physiologie naso-sinusienne :
 - les trois cornets : replis osseux étendus d'avant en arrière,
 - les ostiums : orifices de drainage des sinus maxillaires, ethmoïdaux et frontaux,
 - l'orifice du canal lacrymo-nasal.

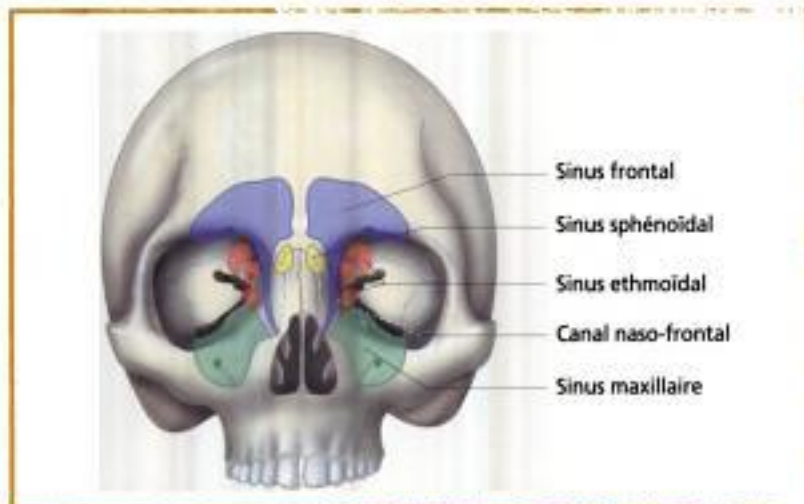


Figure 8.9. Les sinus paranasaux, projection sur le crâne.

La région située sous chaque cornet se nomme méat. On décrit :

- Le méat inférieur (entre le plancher de la fosse nasale et le cornet inférieur) : à sa partie antérieure se drainent les voies lacrymales par le canal lacrymal.
- Le méat moyen (entre le cornet inférieur et le cornet moyen) : il a une grande importance clinique car les sinus antérieurs de la face (sinus frontal, maxillaire et les cellules ethmoïdales antérieures) s'y drainent. Les ostiums de ces trois sinus étant très proches les uns des autres, l'atteinte de l'un de ces sinus retentit rapidement sur les deux autres.
- Le méat supérieur (entre le cornet moyen et le cornet supérieur) : les cellules ethmoïdales postérieures s'y abouchent. L'ostium du sinus sphénoïdal se trouve sur la paroi antérieure du sinus sphénoïdal à la hauteur du méat supérieur.

► Sinus de la face

Ce sont des cavités pneumatiques situées autour des fosses nasales (figure 8.9) avec lesquelles elles communiquent par des ostiums au niveau des différents méats. Elles sont paires mais souvent asymétriques.



Sinus maxillaires

Ces sinus se développent après l'âge de 7 ans. Le sinus maxillaire est creusé dans l'os maxillaire et malaire (figure 8.10). Sa paroi supérieure correspond au plancher de l'orbite, sa paroi antérieure correspond à la joue. C'est à la partie haute de la paroi interne que se trouve l'orifice de drainage qui s'abouche dans la fosse nasale au niveau du méat moyen. L'écoulement des sécrétions dans la fosse nasale n'est donc pas spontané mais est favorisé par les mouvements mucociliaires. Sa paroi inférieure, très fine, est en relation étroite avec l'apex des prémolaires et molaires supérieures (d'où la fréquence des sinusites d'origine dentaire).

Sinus frontaux

Ils se forment après l'âge de 2 ans. Souvent asymétriques, ils sont de taille extrêmement variable. Ils sont situés dans l'os frontal entre les deux sourcils. Ils forment une partie du toit de l'orbite (d'où les complications orbitaires) et la paroi antérieure de la fosse crânienne antérieure (d'où les complications cérébrales). Ils communiquent avec les fosses nasales par un long et fin canal (le canal

naso-frontal) qui débouche dans le méat moyen sous le cornet moyen.

Sinus ethmoïdaux

Ils sont formés dès la naissance. Situé entre l'orbite et la fosse nasale, chaque sinus ethmoïdal forme un quadrilatère creusé comme les rayons d'une ruche par des cellules séparées par de minces cloisons osseuses (figures 8.10 et 8.11). Ces cellules pneumatiques sont divisées en deux groupes, antérieur et postérieur, qui s'ouvrent respectivement dans les méats moyen et supérieur. Sa paroi supérieure forme le plancher de la fosse cérébrale antérieure (d'où les complications cérébrales); sa paroi externe, très fine, forme la paroi interne de l'orbite (d'où les fréquentes complications orbitaires). En arrière, les cellules ethmoïdales postérieures sont en rapport avec les sinus sphénoïdaux et les nerfs optiques.

Sinus sphénoïdaux

Ils se forment à partir de 6 ans. Situés en haut et en arrière des fosses nasales, ils ont leur ostium sur leur face antérieure, à la hauteur du méat supérieur mais indépendant de ceux des autres sinus

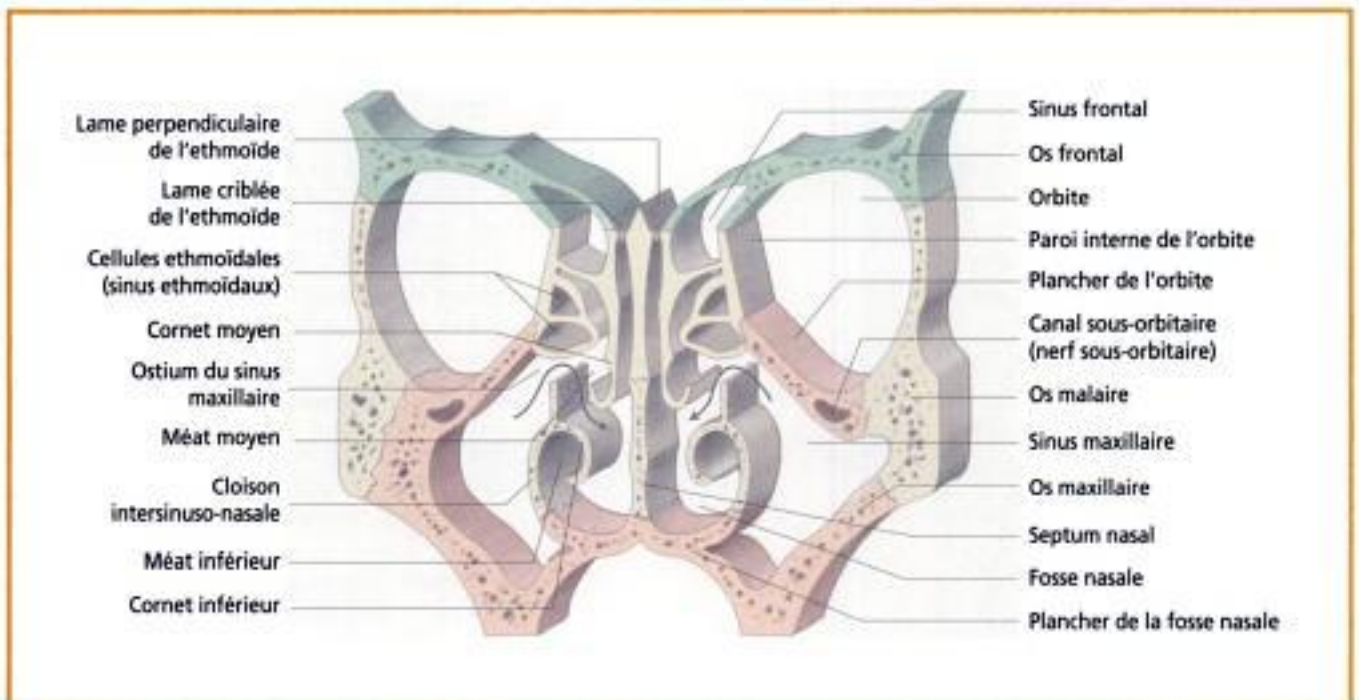


Figure 8.10. Le sinus maxillaire.

Les flèches symbolisent les mouvements des sécrétions du sinus maxillaire vers les fosses nasales à travers l'ostium.

Hidden page

Hidden page



odeurs stimulent ou inhibent l'appétit. L'odorat permet de reconnaître les aliments périmés et les substances toxiques. Il est indispensable dans de nombreuses professions. L'atteinte de l'odorat a fréquemment des répercussions psychologiques.

Physiologie de l'olfaction

L'aire olfactive (figure 8.8), innervée par des fibres du nerf olfactif, se situe au niveau du toit de la fosse nasale : lame criblée de l'ethmoïde, une partie du cornet supérieur et la partie supérieure de la cloison nasale.

Les cellules sensorielles olfactives (figure 8.13) sont bipolaires et constituent les protoneurones (neurones de 1^{er} ordre) : leur prolongement périphérique cilié flotte dans la fosse nasale entre les cellules de soutien de l'épithélium ; leurs prolongements centraux (fibres olfactives) traversent les orifices de la lame criblée de l'ethmoïde et gagnent le bulbe olfactif (centre olfactif primaire) où elles font synapse avec les deutoneurones. Ces neurones de 2^e ordre forment les bandelettes

olfactives sous la face inférieure du lobe frontal jusqu'aux centres olfactifs secondaires (formations limbiques du rhinencéphale).

La genèse des sensations olfactives est peu connue. Les substances odoriférantes doivent être volatiles et hydrosolubles pour se dissoudre dans la couche de mucus jusqu'aux prolongements des cellules sensorielles. À une concentration suffisante (extrêmement faible : 10^{-13} /mL), elles déclenchent un potentiel d'action au niveau de l'axone. On peut percevoir environ 10 000 odeurs différentes et en distinguer 200.

Explorations de l'odorat : olfactométrie

- Tests qualitatifs subjectifs : en différenciant les substances stimulant exclusivement l'olfaction et les substances ayant également un effet sur le goût. On apprécie la façon dont est perçue et reconnue la sensation olfactive.
- Tests quantitatifs semi-objectifs.
- Tests objectifs : potentiels évoqués olfactifs.

Tableau 8.1. Étiologie des troubles de l'odorat.

Atteintes nasales (périphériques) : hyposmie, anosmie	Atteintes intracérébrales (centrales) : parosmie
• Obstruction nasale – déviation septale, traumatisme nasal – rhinites et sinusites – tumeur nasale ou rhinopharynx – atrésie choanale – laryngectomie, trachéotomie • Lésions des récepteurs olfactifs – rhinites atrophiques et ozène – toxiques : cigarette, toxiques industriels, médicaments (aminoside, amphétamines, coumarine, cocaïne, méprobamate, morphine, phénothiazine, pénicillamine, procaine, ...) – déficit en vitamine A – anosmie essentielle	• Traumatisme cérébral – lésions du bulbe olfactif et des nerfs olfactifs – contusion frontale, fracture de la lame criblée • Infection du SNC : virale, abcès frontal, syphilis • Déficit en vitamine B • Anomalie congénitale • Anomalie hormonale • Anomalie psychiatrique • Tumeur : tumeur du lobe frontal, esthésioneuroblastome, méningiome de la base du crâne, tumeurs hypophysaires

Pour comprendre

Physiopathologie de l'olfaction :

- **Anosmie** : perte complète de l'odorat.
- **Hyposmie** : perte partielle de l'odorat.
- **Parosmie** : reconnaissance erronée des odeurs. La cacosmie est une parosmie qui correspond à l'impression de perception de mauvaises odeurs.

La parosmie et les hallucinations olfactives sont souvent dues à des atteintes du système nerveux central, alors que l'anosmie et l'hyposmie sont souvent dues à une atteinte des récepteurs périphériques.

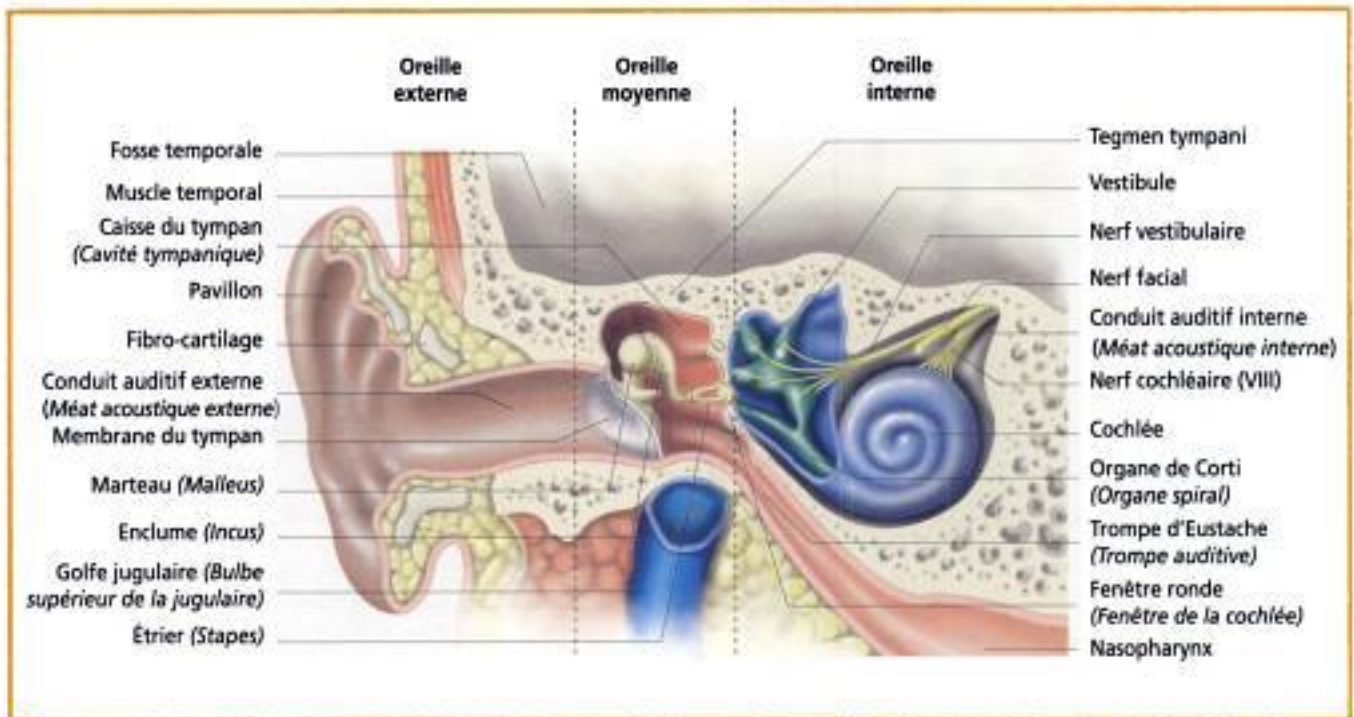


Figure 8.14. L'oreille.

Ouïe

ANATOMIE

On distingue (figure 8.14) :

- Un système périphérique séparé en trois parties :

- L'oreille externe : pavillon et conduit auditif externe (CAE).
- L'oreille moyenne : caisse du tympan, tympan, chaîne des osselets, mastoïde, trompe d'Eustache.
- L'oreille interne : le labyrinthe formé de la cochlée (audition) et du vestibule (équilibre).

- Un système central :

- Le nerf cochléo-vestibulaire (VIII^e paire crânienne) dans le conduit auditif interne jusqu'au tronc cérébral.
- Le tronc cérébral, le cortex cérébral et les voies d'association.

► Oreille externe

Elle collecte les sons vers le système tympano-ossiculaire.

Pavillon

Il est constitué de fibrocartilages recouverts de peau. Chez l'enfant de 7 ans, ses dimensions sont proches de celles de l'adulte.

Le pavillon est légèrement décollé de la mastoïde. Ses principaux reliefs sont la conque, l'hélix, l'anthélix, le tragus (figure 8.15).



Figure 8.15. L'oreille droite.

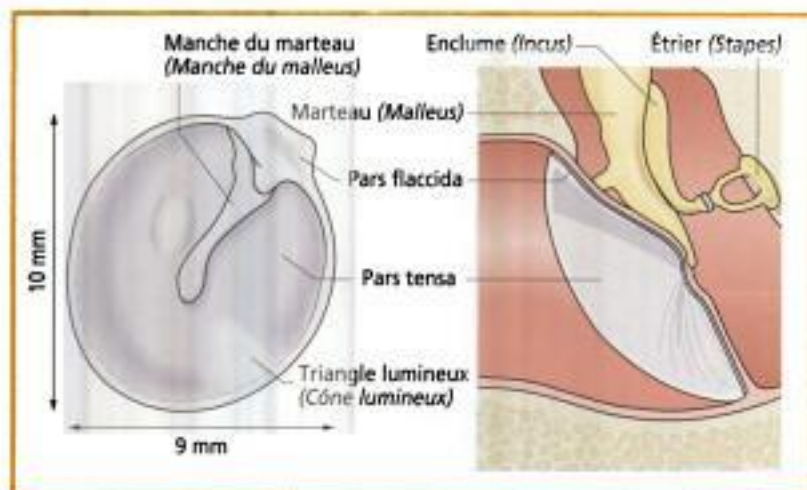


Figure 8.16. Examen otoscopique : le tympan avec le relief du marteau et le reflet lumineux.

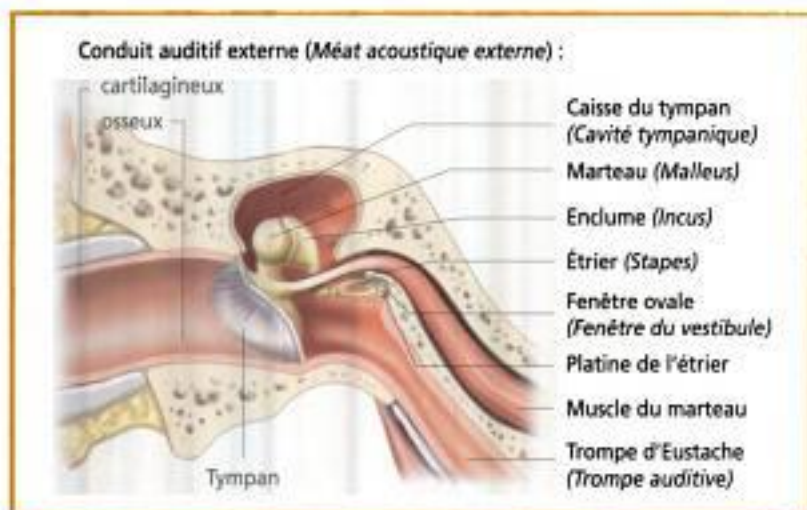


Figure 8.17. Oreille moyenne : les osselets.

Le fibrocartilage du pavillon se continue en dedans avec le cartilage du conduit auditif externe. Il est fixé à l'aide de muscles et de ligaments. Sur la face postérieure du pavillon, la peau est mince et mobile avec du tissu cellulo-adipeux, alors qu'elle est fixée au cartilage sur la face antérieure. Le lobule ne possède pas de cartilage. Enfin la peau du pavillon contient des éléments du système pileux et des glandes sébacées.

Conduit auditif externe (CAE)

C'est un canal ostéo-cartilagineux qui s'étend jusqu'au tympan (figures 8.14 et 8.16). Il a la forme d'un cylindre situé dans l'axe du conduit auditif

interne et mesure 25 mm de long avec un diamètre de 5 à 10 mm. Le tiers externe est cartilagineux, et les deux tiers internes sont osseux, constitués par l'écaille du temporal en haut, la mastoïde en arrière et le tympanal en bas et en avant. La peau qui recouvre le CAE adhère fortement aux parois et se continue avec la couche épidermique du tympan. La portion fibro-cartilagineuse externe est riche en follicules pileux et en glandes sébacées, sudoripares et cérumineuses.

Le **cérumen** est le mélange du produit de sécrétion des glandes sébacées et sudoripares constituant une substance cireuse de pH acide qui protège l'épithélium du CAE.

► Oreille moyenne

Tympan

C'est une membrane qui sépare le CAE de la caisse du tympan. Il est constitué de trois couches (cutanée, fibreuse et muqueuse), ce qui lui donne à la fois rigidité et déformabilité.

On distingue deux parties : la pars tensa et la pars flaccida. La **pars tensa** occupe les deux tiers inférieurs de la surface tympanique. La **pars flaccida** (ou membrane de Schrapnell) est la portion supérieure et plus fine du tympan.

En examen otoscopique, les éléments visibles du tympan sont le relief du marteau et le reflet lumineux (figure 8.16).

Chaîne des osselets

Trois osselets : marteau, enclume, étrier. Reliés par des articulations, ils réunissent le tympan à l'oreille interne. En effet, le marteau est inclus dans le tympan et l'étrier dans la fenêtre ovale par l'intermédiaire de la platine et du ligament annulaire (figures 8.16, 8.17 et 8.18).

Deux muscles : l'un, relié au marteau, permet d'amplifier les sons ; l'autre, relié à l'étrier, protège l'oreille interne lors de sons de forte intensité (réflexe stapédien) (figure 8.17).

Caisse du tympan

Cavité creusée dans le rocher, interposée entre oreille externe et interne. Elle communique en avant avec le nasopharynx par la trompe d'Eustache et en arrière avec la mastoïde. Sa paroi externe est constituée par la membrane tympanique. Sa paroi interne contient le relief de la cochlée, la fenêtre ronde, la fenêtre ovale et la

Hidden page

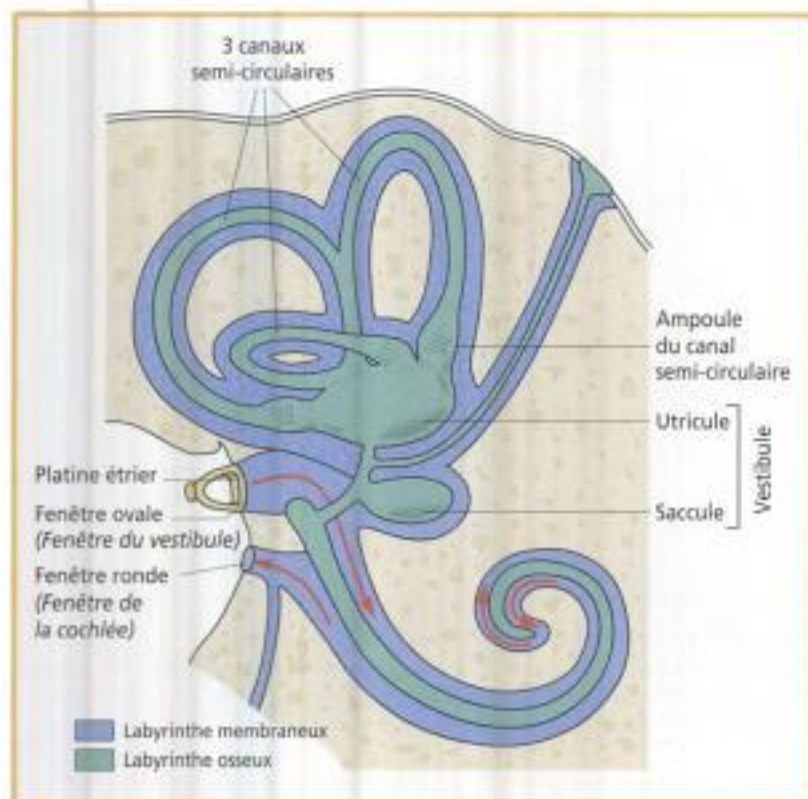


Figure 8.20. Vue d'ensemble de l'oreille interne.

Le nerf VIII assure les deux fonctions d'audition et d'équilibre. Il pénètre dans le conduit auditif interne où il rejoint le nerf facial (VII^e paire crânienne) pour former le **paquet acoustico-facial**. Celui-ci traverse l'angle ponto-cérébelleux et gagne le tronc cérébral (figure 8.14).

PHYSIOLOGIE

► Audition

Le son est l'effet de la vibration de l'air. Aussi est-il impossible de produire un son dans le vide. Par contre, cette vibration se propage plus ou moins bien dans tous les milieux matériels, qu'ils soient solides (os), liquides ou bien gazeux.

La vitesse de propagation du son est de 340 m/s dans l'air, de 1 500 m/s dans l'eau et de 3 000 m/s dans la fonte. La fréquence de la vibration de l'onde sonore est codée en hertz (Hz). Un son aigu a une fréquence élevée (> 2 000 Hz); un son grave une fréquence basse (< 500 Hz). La voix a une fréquence entre 500-2 000 Hz.

Par définition, le seuil de perception auditive correspond à un niveau acoustique de 0 décibel (dB) et le seuil de douleur à un niveau de 130 dB.

Chaque partie de l'oreille a un rôle dans l'audition.

- L'oreille externe favorise la localisation sonore.
- L'oreille moyenne (figure 8.18) transmet les sons de l'oreille externe (vibration de l'air) à l'oreille interne (vibration de l'eau : périlymphe et endolymphe) sans perte d'énergie. Elle sert aussi de protecteur de l'oreille interne grâce aux mouvements des osselets. Une stimulation sonore de forte intensité (> 90 dB) déclenche une contraction du muscle de l'étrier ce qui bloque la chaîne des osselets : c'est le **réflexe stapédien**.
- L'oreille interne (figures 8.18 et 8.20) reçoit une onde de pression liquidienne correspondant à l'enfoncement de l'étrier dans la fenêtre ovale. Cette onde de pression se propage dans la périlymphe puis dans l'endolymphe jusqu'à l'organe de Corti, depuis la base du limaçon vers l'apex et ressort au niveau de la fenêtre ronde. Puis le signal mécanique est codé en signal électrique par les cellules neurosensorielles de l'organe de Corti. La déformation des cils des cellules neurosensorielles lors de la vibration de l'organe de Corti crée une différence de potentiel électrique qui est transmise le long du nerf auditif jusqu'au tronc cérébral.
- Enfin le message arrive au **cerveau auditif** situé dans le lobe temporal.

► Équilibre

L'équilibre est assuré par trois systèmes sensoriels :

- le **système vestibulaire** (central et périphérique),
- le **système proprioceptif** (position des membres dans l'espace),
- la **vision**.

Les informations données par ces systèmes sont intégrées par un système central (cerveau et cervelet) et régulées par des interconnexions entre ces différents systèmes.

Le **système vestibulaire** est un organe pair et symétrique qui comprend deux parties :

- Une partie périphérique composée par :
 - le **vestibule** (utricle et saccule) sensible aux accélérations linéaires verticales et horizontales (dont la pesanteur);
 - les **trois canaux semi-circulaires** situés dans les trois plans de l'espace, sensibles aux accélérations angulaires (rotations) de la tête dans l'espace;

Hidden page

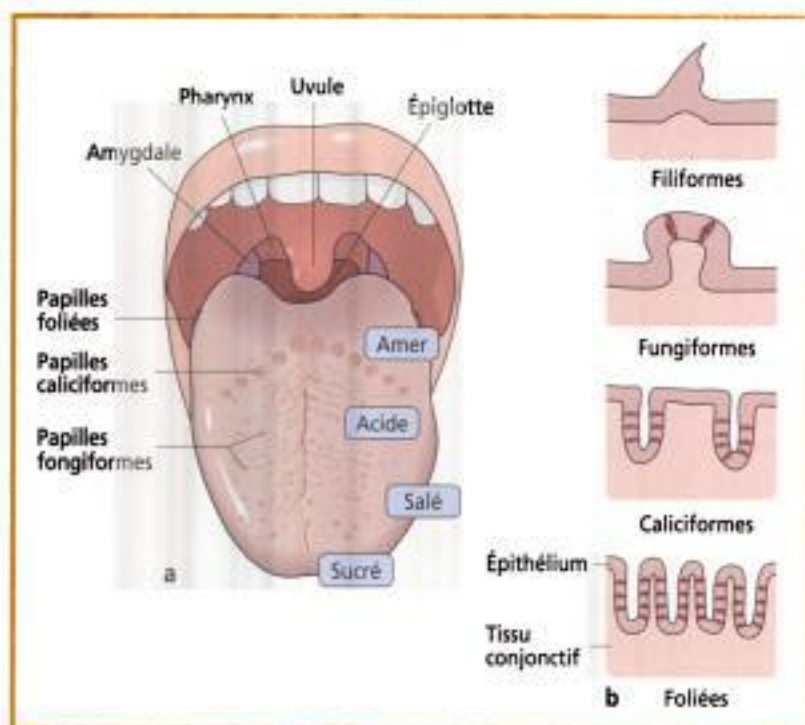


Figure 8.21. a. Localisation des différents types de papilles gustatives et des régions de plus grande sensibilité pour les différentes modalités gustatives. b. Localisation schématique des bourgeons gustatifs au sein des différents types de papilles linguales.

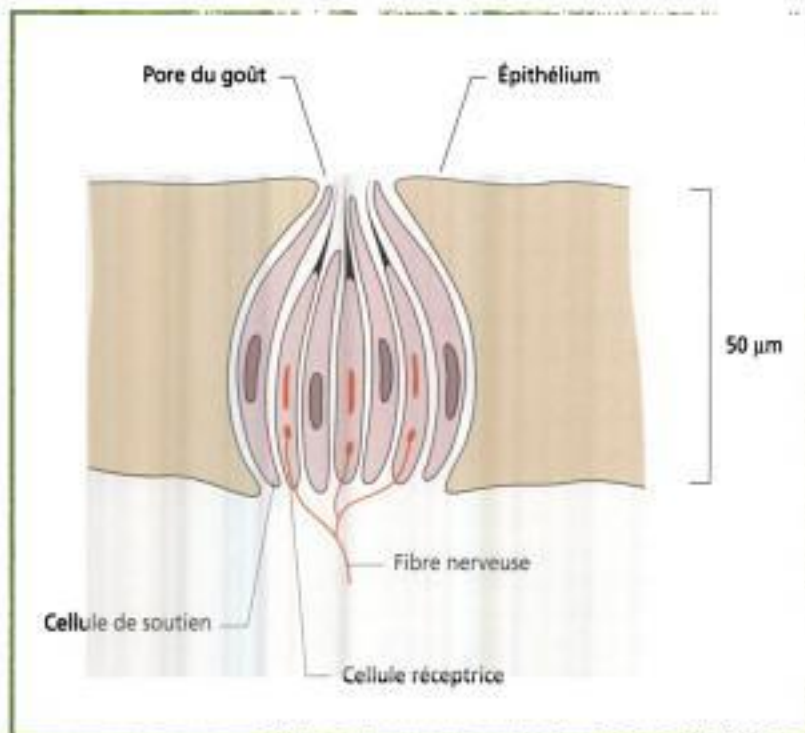


Figure 8.22. Structure microscopique du bourgeon gustatif.

pointe et est volumineuse plus elle possédera de bourgeons gustatifs (4 à 5). Plus éloignée de la pointe, la papille ne possédera que 2 à 3 bourgeons. Plus de la moitié des papilles fongiformes ne possèdent aucun bourgeon gustatif.

- La dizaine de **papilles caliciformes** (7 à 15) forment le « V » lingual en arrière de la face dorsale de la langue. Leur diamètre varie de 1 à 3 mm. Chaque papille possède en moyenne 200 bourgeons gustatifs.

- Les deux **papilles foliées** se présentent comme une série de replis disposés verticalement; elles sont situées latéralement de chaque côté de la base de la langue et possèdent chacune 1 280 bourgeons gustatifs.

Embryologiquement, l'ébauche d'un organe du goût débute à la neuvième semaine. C'est à la quatorzième semaine que les bourgeons du goût sont fonctionnels.

Histologie

Le bourgeon gustatif (figure 8.22) est une structure spécialisée différenciée à partir des cellules épithéliales; il est formé de 30 à 150 cellules gustatives agencées comme les quartiers d'un citron, insérées entre des cellules interstitielles, d'une hauteur de 70 micromètres, d'un diamètre de 50 micromètres. Il possède une extrémité s'ouvrant dans la cavité buccale sous forme d'un pore de 2 micromètres de diamètre, prolongé par des microvillosités. L'autre extrémité au niveau de la lame basale regroupe les efférences nerveuses périphériques et internes faisant synapse avec les cellules gustatives. On distingue quatre types de cellules du bourgeon gustatif en microscopie électronique à transmission.

- Cellule de type I : cellule dite sombre, la plus fréquente, fusiforme, étroite, allongée, elle s'étend sur toute la hauteur du bourgeon. Son rôle est mal élucidé. La présence de vésicules synaptiques près de la région de contact avec les fibres nerveuses traduit le rôle de récepteur gustatif.

- Cellule de type II : cellule dite claire, moins abondante que la précédente, de forme ovalaire. La présence de nombreuses mitochondries et vésicules suggère que la cellule est la plus active sur le plan métabolique. Cela implique un rôle dans les échanges de matériels avec son environnement cellulaire.

- Cellule de type III : elle ressemble à la cellule de type II mais c'est la seule à établir des contacts synaptiques grâce à des vésicules cytoplasmiques.

Son rôle dans la transmission de l'information gustative aux fibres nerveuses est prouvé.

– Cellule de type IV : cellule basale dont le rôle de remplacement est évident, elle se situe vers le pôle apical du bourgeon sans jamais atteindre le pore. La durée de vie des cellules gustatives est d'environ dix jours. La disparition des connexions nerveuses entraîne la dégénérescence puis la disparition rapide du bourgeon gustatif.

► Système nerveux

Nerfs efférents

Une cellule gustative envoie plusieurs efférences (fibre amyélinique) et chaque fibre innerve plusieurs cellules gustatives parfois appartenant à des bourgeons gustatifs distants de plusieurs millimètres. Les informations gustatives vont être transmises au système nerveux central non pas par un réseau spécifique comme les autres sens mais en empruntant des voies nociceptives des VII^e, IX^e et X^e paires de nerfs crâniens.

Les efférences des bourgeons gustatifs issus des papilles fongiformes (2/3 antérieurs de la langue) et une partie des bourgeons gustatifs issus des papilles foliées empruntent les voies somesthésiques du nerf lingual (branche du trijumeau : V) puis rejoignent à la base du crâne la corde du tympan, le nerf facial accessoire (VIIbis) ou intermédiaire de Wrisberg : racine sensitive du nerf facial (VII) qui prend son origine dans le ganglion géniculé.

Les efférences des bourgeons gustatifs issus des papilles caliciformes (du « V » lingual) qui représentent la majeure partie des sensations gustatives (plus de 50%) et une partie issue des papilles foliées, sont véhiculées par le nerf glossopharyngien (IX) prenant naissance dans les ganglions d'Andersch et d'Ehrenritter.

Les efférences des bourgeons gustatifs (région épiglottique, pharynx et larynx) passent par le nerf laryngé supérieur, branche du nerf pneumogastrique (X) dont les fibres naissent dans les ganglions jugulaire et plexiforme.

Voies gustatives centrales

Les efférences gustatives primaires des nerfs faciaux (VII), glosso-pharyngiens (IX) et pneumogastriques (X) se dirigent vers le noyau du faisceau solitaire parfois appelé bulbe gustatif (figure 8.23).

– Le tiers supérieur du noyau du faisceau solitaire (de Nageotte) reçoit les neurones primaires issus des papilles fongiformes et foliées qui y font synapse.

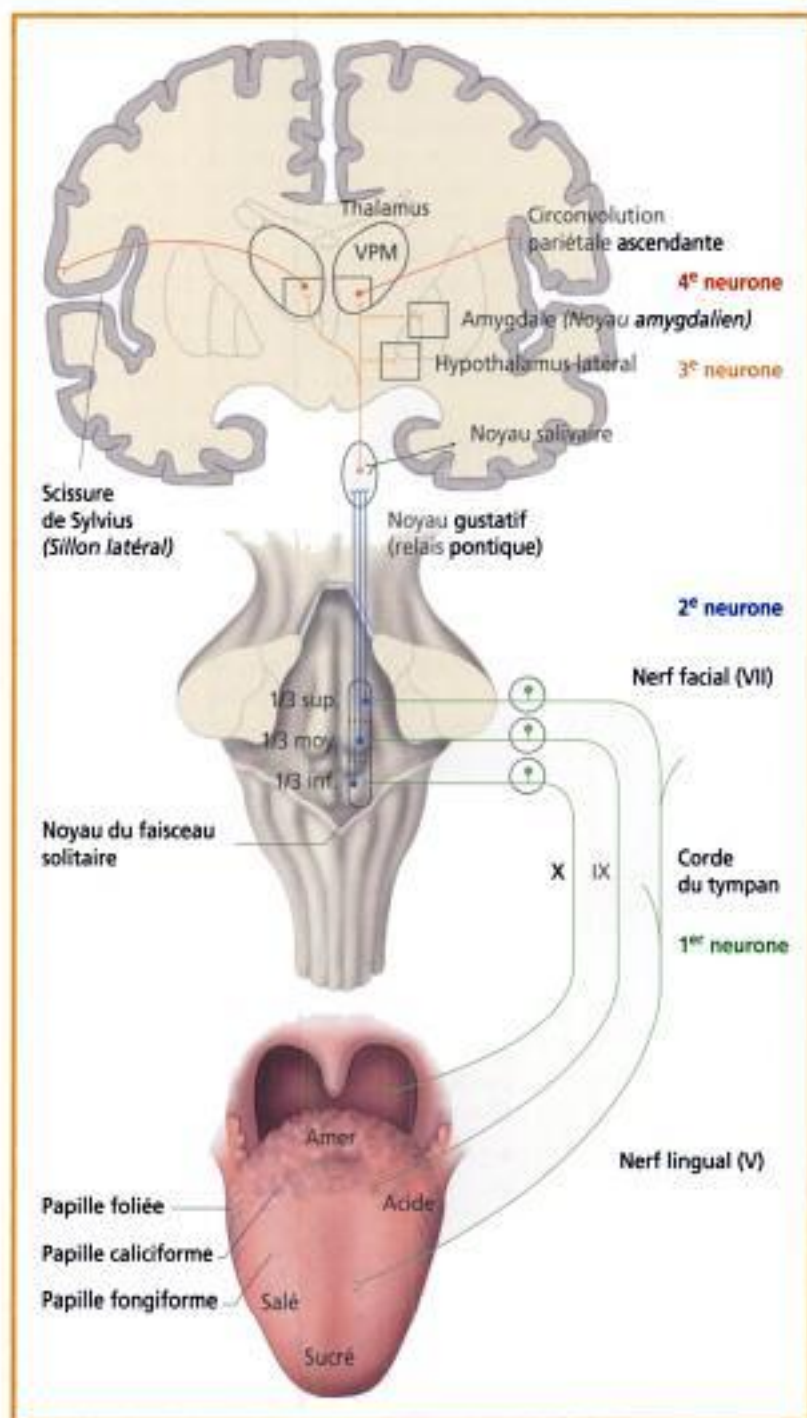


Figure 8.23. Schéma des nerfs de la gustation.

- Le tiers moyen reçoit les neurones primaires issus des papilles caliciformes.
- Le tiers inférieur reçoit les neurones primaires issus des papilles extralinguales.



Après avoir fait synapse avec un deuxième neurone celui-ci se rend à un relais pontique : le noyau gustatif. De là, un troisième neurone bifurque en deux projections ascendantes : l'une se dirige vers l'hypothalamus latéral, le noyau central de l'amygdale, la strie terminale et le cortex frontal. L'autre projection ascendante du troisième neurone se dirige vers le noyau ventro-postérieur médian du thalamus qui reçoit aussi des afférences olfactives du cortex piriforme, ce qui explique les intrications entre l'olfaction et la gustation. Puis partant du thalamus, un quatrième neurone se dirige vers la portion inférieure de la circonvolution pariétale ascendante à l'intérieur de la scissure de Sylvius.

PHYSIOLOGIE

Il existe quatre qualités de la gustation, ou saveurs fondamentales, chez l'homme : le sucré, le salé, l'acide et l'amer, auxquelles on rajoutera la discrimination chimique de l'eau pour certaines espèces animales. Il n'existe pas de spécialisation des bourgeons gustatifs. Chaque bourgeon gustatif est sensible aux quatre saveurs fondamentales mais l'est plus pour l'une ou deux d'entre elles. De ce fait des zones de localisation des modalités fondamentales seront interprétées comme une prédominance à reconnaître cette modalité par rapport aux autres. On parlera de la pointe de la langue pour la modalité sucrée ; de la pointe et des bords pour la modalité salée et des bords latéraux pour l'acide, le goût amer étant prépondérant en arrière de la langue au niveau du « V » lingual.

- **Le sucré** est produit par des molécules organiques (hydrates de carbone et alcools) et par exception quelques molécules inorganiques comme par exemple le sel de plomb. La substance de référence est le saccharose avec un seuil de perception de 0,01 M. L'édulcorant de synthèse, la saccharine, possède un seuil de 0,000 023 M. Le goût sucré n'est pas lié à un groupe chimique.

- **Le salé** est produit par les anions des sels inorganiques. La substance de référence est le chlorure de sodium avec un seuil de perception de 0,02 M.

- **L'acide** est produit par les ions hydrogènes, et le degré d'acidité est proportionnel au degré de dissociation. La substance de référence est l'acide chlorhydrique dont le seuil de perception est de 0,000 1 M.

- **L'amer** est produit par les alcaloïdes morphine, nicotine, urée, la phénylthiourée et certains sels inorganiques comme le sulfate de magnésium. La substance de référence est le sulfate de quinine avec un seuil de perception très bas de 0,000 008 M.

Beaucoup de substances peuvent produire des sensations gustatives différentes en fonction de leur concentration. Par exemple, le chlorure de sodium qui caractérise le goût salé, a un seuil de perception 0,02 M et est perçu comme sucré. D'autres substances peuvent produire des sensations gustatives qui évoluent, donnant un arrière-goût. Par exemple, la saccharine, édulcorant sucré, possède un arrière-goût amer. C'est la combinaison des quatre goûts fondamentaux et de composants comme la température, les sensations tactiles, etc., qui contribue à créer des identifications corticales de chaque molécule. Du fait de notre génétique, de notre histoire et de notre éducation, chacun se fait sa propre image corticale d'une molécule sapide : on parle alors de saveur.

PHYSIOPATHOLOGIE DU GOÛT

► Variations physiologiques de la gustation

Les variations individuelles de la sensibilité au goût chez des sujets d'une même tranche d'âge sont bien connues. En revanche, la diminution des sensations gustatives chez le sujet âgé a été constatée, sans pour autant que l'on puisse l'expliquer par une baisse éventuelle du nombre de bourgeons gustatifs, qui ne varie pas ou peu. Des facteurs comme l'hygiène orale, la présence de restaurations prothétiques, le tabac et la diminution salivaire altèrent la discrimination gustative.

► Variations pathologiques de la gustation

Les troubles du goût peuvent être classés en :

- perte complète ou **agueusie**,
- diminution ou **hypogueusie**,
- perturbation ou **dysgueusie**,
- sensation continue intense de mauvais goût ou **cacoguesie**.

Les anomalies du goût peuvent être d'origines congénitale, locale (infections, brûlures, etc.), médicamenteuses. Certaines maladies neurologiques sont en cause, lorsqu'elles atteignent les VII^e, IX^e et X^e paires crâniennes.

Hidden page



Il est composé de quatre types cellulaires

- **Les kératinocytes** : ils représentent 80% de la population cellulaire de l'épiderme ; ils subissent, à partir de la couche basale une série de transformations morphologiques et chimiques aboutissant à la formation des cornéocytes.

À RETENIR

L'épiderme est un tissu en constant renouvellement depuis le développement embryonnaire et tout au long de la vie d'un individu ; il se renouvelle à partir des kératinocytes basaux qui prolifèrent et se différencient jusqu'à aboutir aux cornéocytes qui desquament en surface dans un processus de mort cellulaire programmée ou apoptose.

- **Les mélanocytes** : ils synthétisent, sous la dépendance d'une hormone hypophysaire, la MSH, un pigment noir, la **mélanine**, responsable de la couleur de la peau. Les mélanocytes qui assurent la protection de la peau contre les ultraviolets siègent dans la couche basale, entre les kératinocytes.

Il existe, en moyenne pour un sujet, 1 mélanocyte pour 7 kératinocytes ; le nombre des mélanocytes est le même quelle que soit la race ; les différences d'intensité de pigmentation de la peau sont dues à la quantité de mélanine fabriquée par les mélanocytes et transférée aux kératinocytes.

- **Les cellules de Langerhans** : cellules jouant un rôle dans les réactions immunitaires, elles siègent dans le corps muqueux de Malpighi.

- **Les cellules de Merkel** : elles appartiennent au système endocrinien diffus.

► Derme

C'est un tissu conjonctif richement vascularisé et innervé sur lequel repose l'épiderme.

Il comprend le derme papillaire, couche la plus superficielle, qui est un tissu conjonctif lâche, et le derme réticulaire, couche la plus profonde, qui est un tissu conjonctif plus dense.

Il est composé :

- d'une substance fondamentale,
 - de fibres de collagène, de fibres de réticuline et de fibres élastiques,
 - de cellules : fibroblastes essentiellement, macrophages, mastocytes, plasmocytes, et autres cellules sanguines (lymphocytes et polynucléaires) en faible proportion dans les conditions normales.
- De nombreux vaisseaux sanguins et terminaisons nerveuses (terminaisons nerveuses libres et corpuscules de Meissner, de Golgi-Mazzoni, etc.) cheminent dans le derme.

► Jonction dermo-épidermique

C'est la zone d'attache de l'épiderme sur le derme ; elle est ondulée et forme des saillies dermiques dans l'épiderme, appelées papilles dermiques, et des sillons occupés par l'épiderme, appelés crêtes épidermiques (figure 8.25). C'est une zone importante dont la structure est complexe et comprend de la surface vers la profondeur : les hémidesmosomes des kératinocytes basaux, la lamina lucida, la lamina densa et les fibres d'ancrage composées de collagène VII.

À RETENIR

L'atteinte des structures de la jonction dermo-épidermique, soit auto-immune (anticorps anti-BP 220 dans la pemphigoïde bulleuse), soit héréditaire (anomalie du collagène VII dans certaines formes d'épidermolyse bulleuse héréditaire dystrophiques) est responsable de maladies bulleuses.

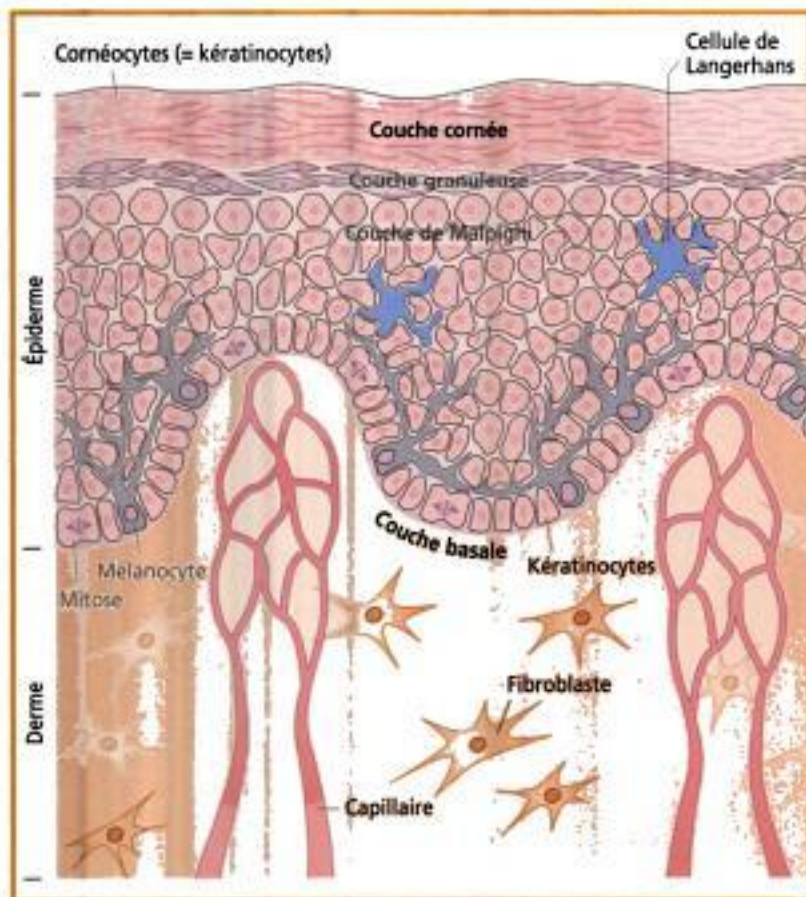


Figure 8.25. Détails de l'épiderme.

Hidden page



Les ongles sont composés de :

- la lame ou tablette unguéale;
- la matrice, qui donne naissance à la tablette.

La matrice de l'ongle a une activité permanente; le renouvellement d'un ongle se fait en 4 à 5 mois aux mains et en 10 à 18 mois aux pieds.

Les ongles ont un rôle de protection du lit unguéal et sont indispensables à la préhension fine.

► Glandes

Glandes sudoripares

Elles sécrètent la sueur et sont de deux types :

- **Les glandes sudoripares eccrines.** Elles sont distribuées sur l'ensemble du corps mais sont en plus grand nombre aux paumes des mains, aux plantes des pieds et dans le dos; elles synthétisent une sueur aqueuse et salée; leur cavité sécrétrice siège dans le derme et leur canal excréteur traverse le derme et l'épiderme pour s'aboucher à la surface de la peau par un pore; les facteurs stimulant la sécrétion sont thermiques et psychiques. Les glandes sudoripares eccrines ont essentiellement un rôle dans la thermorégulation et participent également à l'hydratation de la peau.

- **Les glandes sudoripares apocrines.** Elles siègent électivement dans les creux axillaires, le pubis et la région périnéale; elles synthétisent une sueur grasse secondairement malodorante par dégradation bactérienne; leur cavité sécrétrice est située dans l'hypoderme et leur canal excréteur s'abouche dans le conduit pilo-sébacé; elles sont sous la dépendance des hormones stéroïdes.

Glandes sébacées

Elles sont annexées aux poils et forment ainsi les follicules pilo-sébacés; elles synthétisent le sébum, produit riche en graisses qui sert à lubrifier le poil et apporte à la couche cornée hydratation et imperméabilité; elles sont sous la dépendance des androgènes.

Le larynx et la parole

Le larynx est la partie du tube respiratoire intermédiaire entre le pharynx et la trachée, particulièrement développé dans la race humaine.

ANATOMIE

Le larynx est formé d'un tube fermé en haut par une lame cartilagineuse appelée épiglote.

Il a trois étages : la région sus-glottique, la glotte formée par les cordes vocales et la sous-glote.

En dessous se trouve l'appareil de la phonation :

- **Les cordes vocales,** ce sont deux muscles puissants tendus du cartilage thyroïde en avant, au cartilage aryténoïde, en arrière. Elles sont reliées

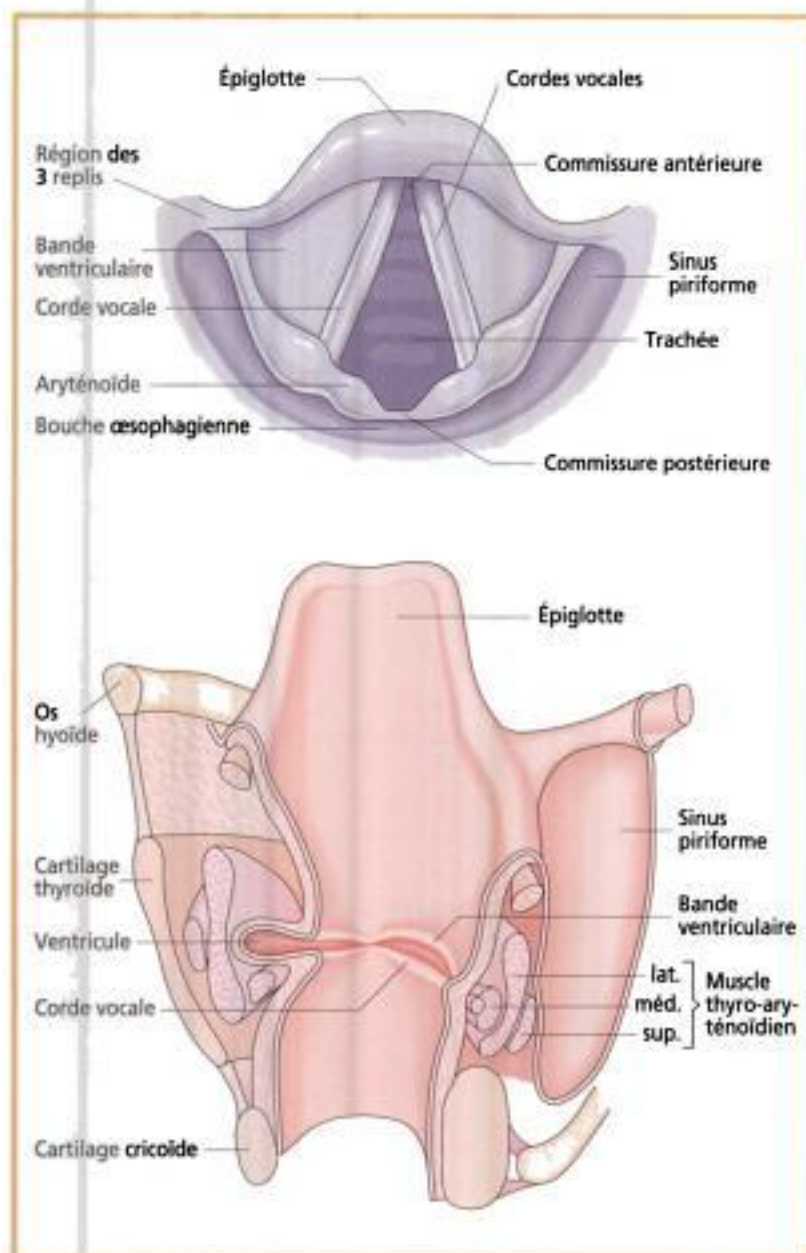


Figure 8.27. Le larynx.



aux parois du tube laryngé par des bandes ventriculaires.

● **Les nerfs des cordes vocales** sont issus des nerfs pneumogastriques (X^e paire). Les nerfs récurrents sont les nerfs moteurs et les nerfs laryngés externes sont les nerfs tenseurs des cordes vocales.

PHYSIOLOGIE

La structure du larynx lui fait jouer un rôle :

● **dans la déglutition** : il se ferme lors de l'absorption des aliments ou des boissons, empêchant le

reflux des liquides et des aliments dans le tube respiratoire ;

● **dans la respiration** : il s'ouvre pour permettre l'issue avec force de l'air contenu dans la trachée et les bronches ce qui permet la respiration et la parole ;

● **dans la phonation** : le larynx est l'organe de la parole : particulièrement développé chez l'homme, par rapport aux animaux, il permet le langage articulé et modulé et le chant avec la participation de la cavité buccale des lèvres et du voile du palais.

Pour comprendre

Dans l'espèce humaine, la parole et le chant sont des phénomènes très complexes. Ils sont produits par un véritable instrument de musique comportant des cordes et des vents (de la flûte à l'orgue) et s'étendant depuis le nez jusqu'aux poumons.

Trois mécanismes physiques sont mis en œuvre :

- Une source d'énergie puissante, capable d'expulser l'air : ce sont les poumons et la cage thoracique. Cette force peut facilement être contrôlée et modulée.
- Une structure capable de moduler des oscillations périodiques et apériodiques : ce sont les cordes vocales. Elles sont capables de vibrer d'avant en arrière, de dehors en dedans et de haut en bas. Les muscles des cordes vocales sont plus ou moins puissants (mâles ou féminins) et capables de se tendre avec une force très variable.

L'orifice qu'elles délimitent est évidemment de dimensions et de formes multiples et une quantité d'air sous pression peut être bloquée entre les cordes vocales supérieures et inférieures.

- Un système de résonance, générateur d'harmoniques : c'est la colonne d'air emprisonnée dans le « tube » formé par l'espace compris depuis les cordes vocales dans le pharynx, la bouche et la cavité nasale. Ce système fournit un ton extrêmement modulable mais conserve, comme un instrument de musique, des caractéristiques fondamentales, dont le timbre, qui permettent de reconnaître immédiatement la parole d'un individu.

La commande nerveuse est également très riche

Au moins, quatre aires corticales sont impliquées et de nombreuses branches nerveuses issues du nerf pneumogastrique, mais aussi du glosso-pharyngien et du grand hypoglosse, permettant de mettre en mouvement tous les organes de la parole et du chant.



Le terme d'hormone a été défini par Ernest Starling en 1905. « Ces messagers chimiques... ou « hormones » (de *hormao*, j'excite, je stimule) comme nous pouvons les appeler, doivent être transportées de l'organe où elles ont été produites à l'organe qu'elles affectent, par le moyen du courant sanguin, et les besoins physiologiques de l'organisme qui se reproduisent continuellement doivent provoquer de façon répétée leur production et leur circulation dans le corps. » (figure 9.1)

► Propriétés des hormones

Elles sont sécrétées en faibles quantités par des tissus glandulaires spécialisés.

Elles sont déversées directement dans le courant sanguin et transportées par le système vasculaire. Leur action s'effectue ainsi à distance.

Elles agissent sur des cellules précises en produisant des effets spécifiques. Une seule hormone peut agir sur plusieurs cibles et produire plusieurs effets.

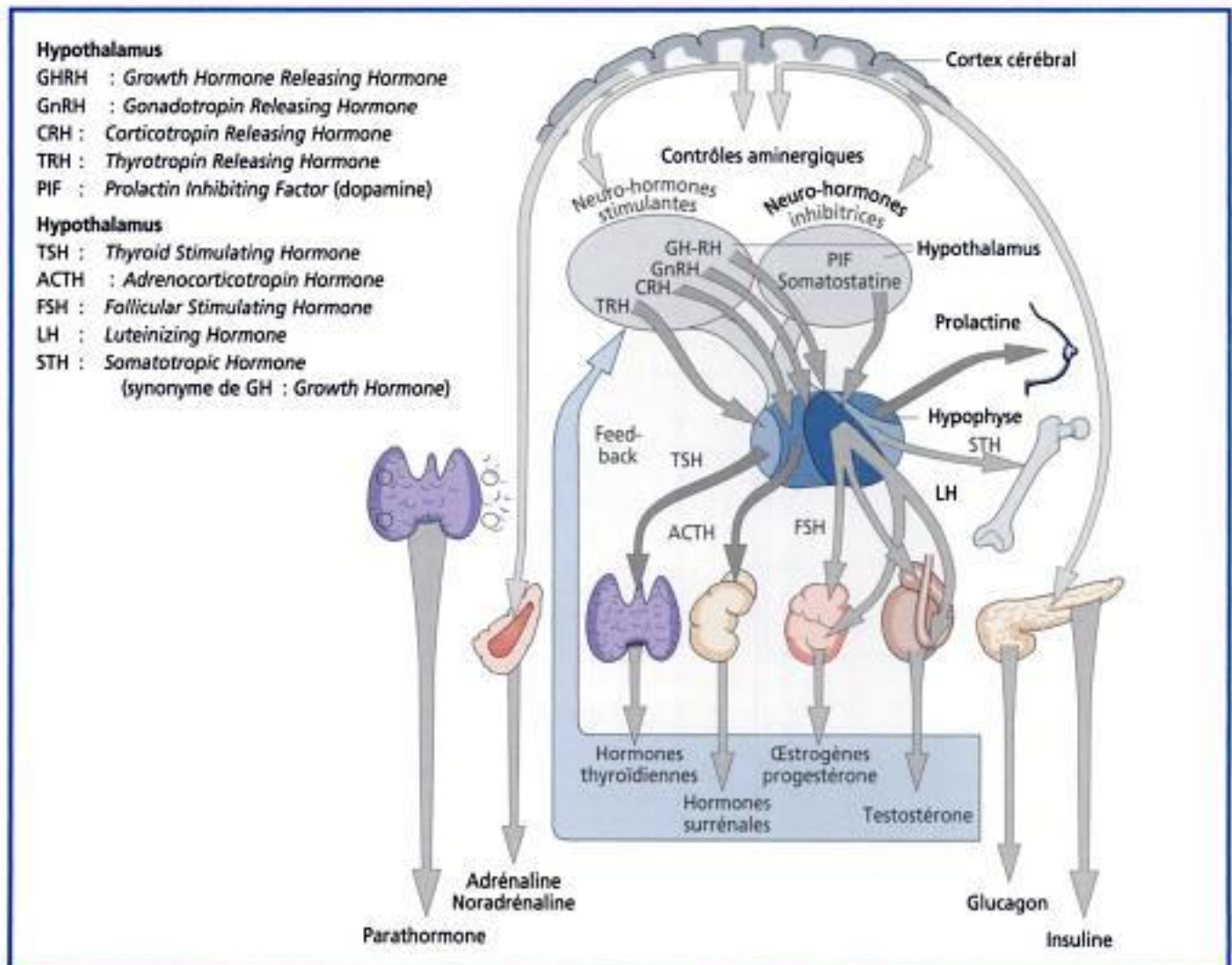


Figure 9.1. Les principales hormones de l'organisme.



Leur action persiste lorsque toute connexion nerveuse avec l'organe a été supprimée.

Elles agissent, conjointement au système nerveux, comme **régulateurs physiologiques** du métabolisme et comme intégrateurs, habituellement en synergie avec une ou plusieurs autres hormones.

► Action des hormones

Récepteurs membranaires

Ce sont des structures situées sur la membrane des cellules. Ils reconnaissent surtout les hormones polypeptidiques comme l'insuline, l'hormone de croissance, etc.

À RETENIR

Principales hormones : hormones polypeptidiques.
Leur taille varie d'un minuscule tripeptide à une masse de plusieurs milliers d'acides aminés. Les principales hormones polypeptidiques sont :

1. **Hormones hypothalamiques** (ADH, TRH, GRH, LHRH, CRH).
2. **Hormones hypophysaires** (TSH, FSH, LH, GH, prolactine, ACTH).
3. **Insuline et glucagon.**
4. **Parathormone et calcitonine.**

Les hormones polypeptidiques sont transportées dans le sang en étant fixées à des protéines plasmatiques. Seule la forme libre est active.

Leur dosage se fait par méthode immunologique utilisant des antigènes ou des anticorps marqués par radioactivité ou par d'autres substances (fluor, enzymes...).

5. Dérivés de la tyrosine

- la dopamine ;
- l'adrénaline et la noradrénaline ;
- les hormones thyroïdiennes.

Ce sont des hormones dont le rôle est de stimuler brutalement le fonctionnement de leurs cellules cibles.

Elles ont le rôle fondamental de maintenir la pression artérielle.

6. Hormones stéroïdiennes.

Ce sont les hormones surrénaliennes et sexuelles. Elles sont produites par :

- le cortex surrénal ;
- les ovaires et les testicules ;
- le corps jaune ;
- l'unité fœto-placentaire.

Récepteurs intracellulaires

L'hormone traverse la membrane cellulaire et pénètre à l'intérieur des cellules. Les récepteurs reconnaissent l'hormone et la transportent dans le noyau des cellules où elle agit.

Les récepteurs intracellulaires sont sensibles à deux types d'hormones :

- les hormones thyroïdiennes ;
- les hormones stéroïdiennes (corticosurréniennes, gonadiques).

Signaux cellulaires déclenchés par les hormones et leur transmission

Pour que la cellule réagisse, il faut qu'elle reçoive un signal fort. Celui-ci est transmis depuis le récepteur jusqu'au noyau par le biais de messagers.

Lorsqu'une cellule reçoit un signal hormonal, elle répond selon la fonction qui lui est dévolue, par exemple :

- elle peut fabriquer une autre hormone ;
- elle peut transporter une substance (glucose, calcium, sodium) ;
- elle peut faire croître un tissu (cartilage, seins, muqueuse utérine).

Fonctionnement global de la cellule cible après le signal hormonal

Lorsque la cellule cible a reçu le signal hormonal elle peut accélérer son fonctionnement (action de la TSH sur la thyroïde par exemple) ou au contraire le freiner (action de la dopamine sur la sécrétion de prolactine). Elle obéit aussi à une autorégulation (*feed-back*) qui tend à la ramener à son fonctionnement initial.

L'hypothalamus chef d'orchestre

Comme un vaste système d'engrenages, l'hypothalamus, petite zone située au centre du cerveau, juste au-dessus de l'hypophyse, fabrique de nombreuses substances qui règlent le fonctionnement des autres glandes.

L'hypothalamus est une petite région nerveuse située au-dessus de l'hypophyse. Les neurohormones sont dirigées vers l'hypophyse par un système vasculaire « porte ».

Hidden page



La TRH est largement répandue dans l'organisme. Sa plus forte concentration se trouve dans le noyau paraventriculaire et les neurones terminaux dans l'éminence médiane de l'hypothalamus. On trouve également ce polypeptide en quantité notable dans le tractus gastro-intestinal, le pancréas, les testicules.

La durée de vie de la TRH est d'environ 6 minutes. Elle est dégradée dans le plasma et les tissus. Ses métabolites n'ont pas d'activité TRH.

La TRH provoque une sécrétion de TSH rapide et maximale en 20 minutes. Le test à la TRH montre une ascension des valeurs de base de 0-3 $\mu\text{U/mL}$ à 8-20 $\mu\text{U/mL}$ en dosage radio-immunologique. La TRH agit sur la synthèse des 2 sous-unités de la TSH. Elle augmente également la sécrétion de l'hormone.

La sécrétion de TSH est essentiellement sous la dépendance du taux plasmatique des hormones thyroïdiennes. Il existe d'ailleurs une corrélation quantitative inverse entre les quantités sécrétées de TRH et l'hyper- ou l'hypothyroïdisme.

HORMONE DE CROISSANCE

La sécrétion de l'hormone de croissance est régulée par deux facteurs, l'un stimulant et l'autre freinant la GH : Somatotropine ou Somatotropin Releasing Factor (SRF) ou Growth Hormone Releasing Hormone (GHRH).

La somatotropine (GHRH)

Elle a été isolée en 1982 à partir d'extraits de tumeur pancréatique. Trois peptides ont ainsi été isolés, mais deux sont très actifs : GHRH-44-NH₂, GHRH-40.

La sécrétion de GRH est localisée dans le noyau arqué de l'hypothalamus et les neurones terminaux dans l'éminence médiane.

La GHRH a une demi-vie très courte, inférieure à 5 minutes. Son action est en revanche pratiquement immédiate.

Elle agit en se fixant sur la membrane des cellules hypophysaires sécrétant GH. Elle agit par intermédiaire des ions Ca^{++} et de l'AMPc. À la dose de 0,1 à 10 $\mu\text{g/kg}$, la GHRH provoque une augmentation progressive jusqu'à la 30^e minute de la sécrétion de STH qui revient à sa valeur de base en 3 heures environ.

La somatotropine est sensible aux variations de la glycémie : l'hypoglycémie stimule considérable-

ment la synthèse et la sécrétion de somatotropine alors que l'hyperglycémie la freine. Les stimulants des β -récepteurs : vasopressine, arginine, exercice physique, stress, sont stimulants sur la GHRH et donc sur la sécrétion de somatotropine.

Le sommeil profond est un très puissant stimulant de la sécrétion de GRH et de STH, probablement par le biais d'un mécanisme sérotoninergique, car le 5-hydroxytryptophane provoque le même effet alors que la cyproheptadine, bloqueur de la sérotonine, freine la sécrétion de somatotropine et de STH.

La somatostatine (SRIF : Somatostatin Release Inhibiting Factor)

Elle tire son nom de l'action inhibitrice qu'elle exerce sur la sécrétion de somatotropine. Elle existe sous 2 formes : l'une, contenant 14 acides aminés (S14), est présente dans le cerveau et le pancréas et l'autre, en contenant 28 (S28), est présente dans le tractus gastro-intestinal. On connaît la structure exacte de la préprohormone humaine et on sait fabriquer un certain nombre de peptides à action somatostatine.

La somatostatine est très répandue dans l'organisme : hypothalamus, système nerveux central, tractus digestif, pancréas. Il est intéressant de constater que la somatostatine hypothalamique est une véritable neurohormone, sécrétée au niveau du noyau hypothalamique paraventriculaire et agissant directement pour inhiber la sécrétion de GHRH. La somatostatine du tube digestif est plutôt une sécrétion paracrine.

La somatostatine se fixe sur des récepteurs membranaires et provoque une diminution de la concentration intracellulaire des ions Ca^{++} par blocage du passage transmembranaire. Elle entraîne également une diminution de la concentration en AMPc. Diminuant ainsi l'activité électrique des cellules, elle agit comme un interrupteur de sécrétion.

PROLACTINE

À l'inverse des autres hormones hypophysaires dont le tonus est stimulé par la neurohormone hypothalamique correspondante, la prolactine est au contraire inhibée à l'état normal.

PRF (Prolactin Releasing Factor) ou PRP (Prolactin Releasing Peptide)

Il existe à l'évidence un facteur hypothalamique stimulant puisque la succion du mamelon provoque

Copyrighted material



Posthypophyse : eau

L'organisme humain, pour survivre, doit obligatoirement conserver sa composition en eau (environ 80 % chez l'enfant et 70 % chez l'adulte).

ÉQUILIBRE HYDRIQUE

Les apports en eau sont d'environ 2 litres/24 h chez l'adulte; l'élimination est équivalente, une moitié se faisant par le rein et l'autre moitié par les sucurs, la respiration et la perspiration.

La partie qui est régulée est celle qui passe par le rein. Ce dernier filtre en effet à peu près 180 litres de sang par 24 heures et réabsorbe 99 % de l'eau filtrée. Ce phénomène laisse donc une quantité d'eau « libre » de 1,8 litre sur laquelle joue la régulation.

– En cas de **déshydratation**, les récepteurs du système nerveux central déclenchent la sensation de soif et donc un désir de boisson.

– En cas d'**hyperhydratation**, c'est une élimination automatique de l'eau qui intervient.

HORMONE ANTIDIURÉTIQUE (ADH)

Sécrétion

L'ADH (ou HAD) est sécrétée par les cellules nerveuses de l'hypothalamus. C'est un petit polypeptide qui est déversé dans le système porte hypothalamo-hypophysaire et est ensuite stocké dans la posthypophyse.

Action

L'ADH agit sur les cellules rénales du tube distal. Elle ouvre les pores qui permettent le passage de l'eau depuis la lumière du tube rénal vers le tissu interstitiel.

En pathologie

● **L'insuffisance en ADH** provoque le diabète insipide : l'impossibilité de réabsorber l'eau libre provoque une polyurie permanente d'urines très diluées (figure 9.4).

● **L'excès en ADH** provoque le syndrome de Schwartz-Bartter : inflation hydrique de l'organisme avec hypo-osmolarité. La natrémie est toujours très basse.

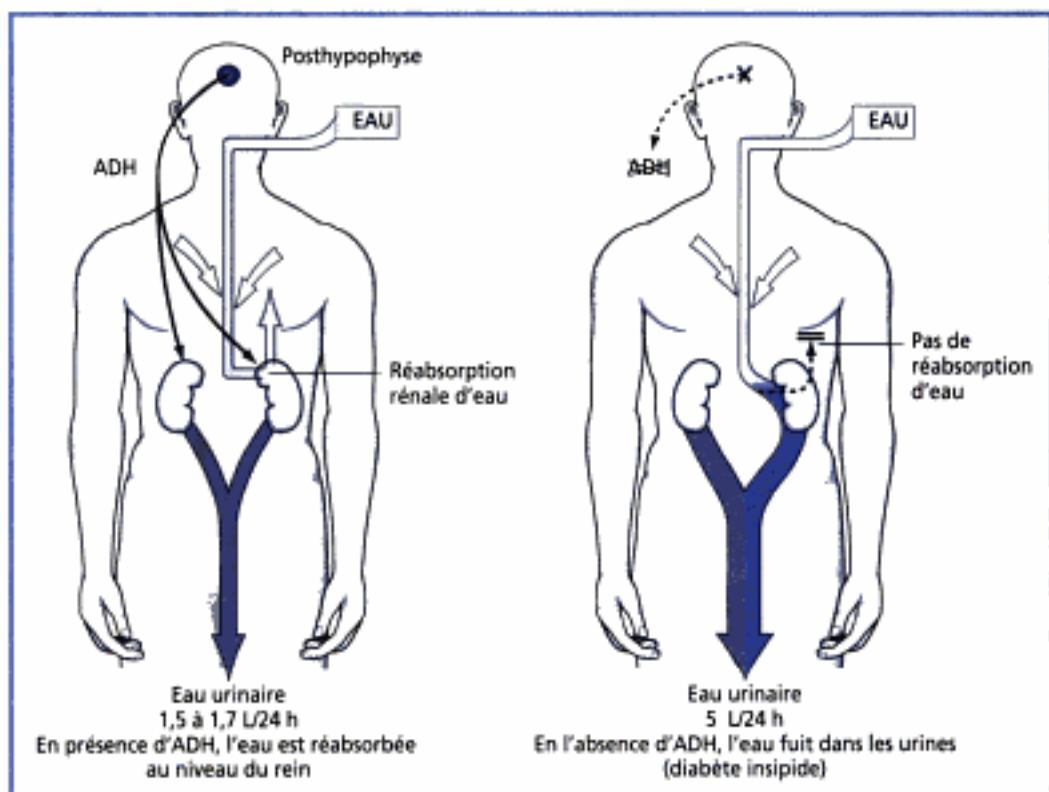


Figure 9.4. Le diabète insipide.

Hidden page



À droite, elle se jette dans la veine cave inférieure ; à gauche, elle se draine dans la veine rénale gauche.

- **Lymphatiques.** Ils sont nombreux et variés, drainant la surrénale vers les ganglions aortiques, hépatiques à droite et intrathoraciques des deux côtés. Ce point est important dans l'envahissement des cancers surrénaux.
- **Nerfs.** Ils sont très nombreux formant un plexus surrénalien.

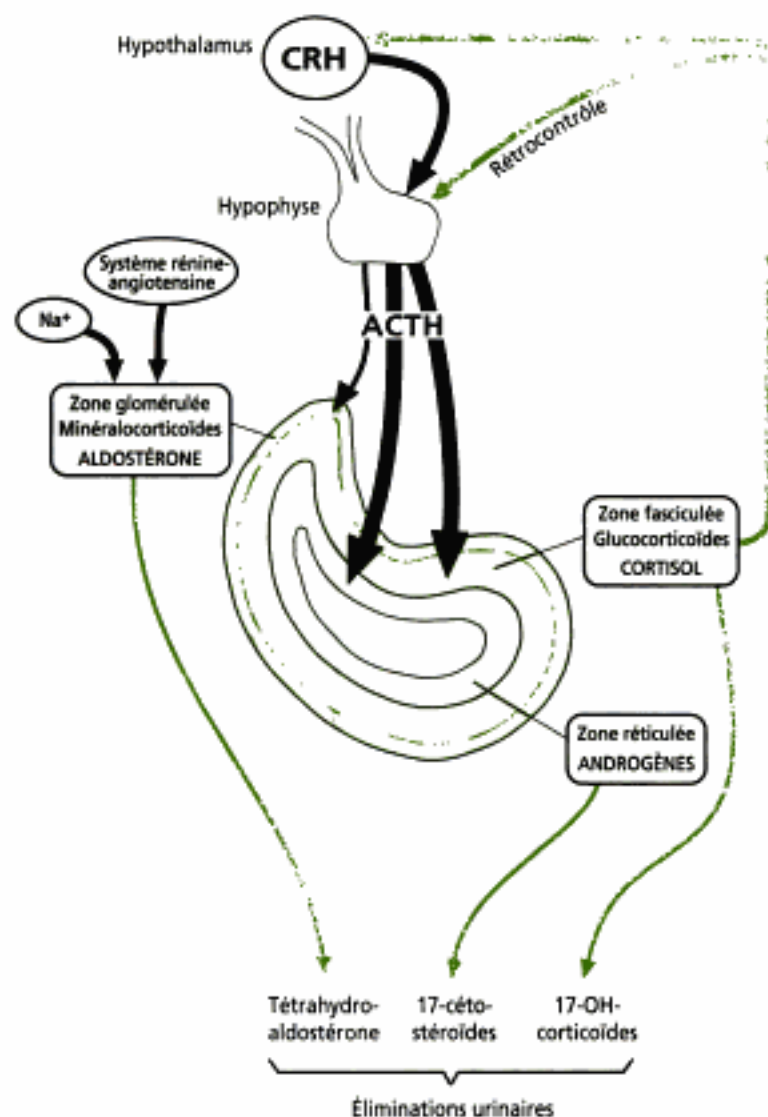


Figure 9.6. Sécrétions et éliminations urinaires de la corticosurrénale : contrôle de la sécrétion.

HISTOLOGIE

La corticosurrénale comprend trois zones bien distinctes (figure 9.6) :

- la **zone glomérulée** superficielle, qui sécrète les hormones **minéralocorticoïdes** ;
- la **zone fasciculée** moyenne qui fabrique les hormones **glucocorticoïdes** (cortisol) ;
- la **zone réticulée** profonde qui fabrique les **androgènes**.

PHYSIOLOGIE

Glucocorticoïdes

Indispensables à la vie, ils règlent le métabolisme des glucides intracellulaires. Le chef de file de ces hormones est l'hydrocortisone ou cortisol. Le cortisol permet la **néoglucogénèse** hépatique c'est-à-dire la reconstitution du glucose à partir des acides aminés. Il aide aussi à la conservation du sel et à la répartition de l'eau dans l'organisme. Le taux de cortisol est régulé par l'appareil hypothalamo-hypophysaire. Lorsque la cortisolémie baisse dans le sang, l'hypothalamus sécrète du CRH (Corticotropin Releasing Hormone) qui à son tour entraîne la sécrétion d'ACTH hypophysaire ; cette dernière stimule la corticosurrénale et rétablit le taux de cortisol. À l'inverse, en cas d'élévation de la cortisolémie il y a freinage hypothalamo-hypophysaire et surrénalien.

Minéralocorticoïdes

Ce sont la désoxycorticostérone et l'aldostérone qui règlent le métabolisme du sodium. Le déficit en aldostérone, dans les insuffisances surrénales, entraîne une perte de sodium et une accumulation du potassium dans les cellules. La sécrétion d'aldostérone est régulée par le système rénine-angiotensine et non par le taux périphérique de l'hormone.

Androgènes

Les hormones mâles synthétisées par le cortex surrénal sont la DHA (déhydroépiandrostérone) et la delta-4 androstènedione.

Les androgènes d'origine surrénalienne sont dits « faibles » par rapport à la testostérone qui est la véritable hormone mâle.

Les androgènes surrénaux sont responsables de la « puberté surrénale » ou « adrénarche », c'est-à-dire



de l'apparition de poils dans les deux sexes (poils dits « ambosexuels »).

La sécrétion des androgènes surrénaliens est sous la dépendance de l'ACTH.

À RETENIR

L'hydrocortisone (cortisol) est synthétisée et sécrétée à raison de 0,5 mg/kg/j. environ, soit 30 à 40 mg/j. pour un adulte de poids moyen.

Elle contribue à l'équilibre du sodium, de l'eau et du glucose.

Son taux est régulé par l'ACTH hypophysaire.

L'aldostérone est l'hormone de rétention du sel. Tout excès (syndrome de Conn) est responsable d'hypertension avec hypokaliémie.

Son taux est régulé par le système rénine-angiotensine.

Les androgènes surrénaliens ont une importance chez la femme : tout excès peut être responsable d'un hirsutisme.

Leur taux est régulé indirectement par l'ACTH.

Médullosurrénales : la pression artérielle

► Sécrétion

La médullosurrénale (et plus généralement certains ganglions sympathiques sécréteurs) sécrète deux hormones faisant partie de la catégorie des catécholamines : l'adrénaline (AD) et la noradrénaline (NA) dont le rôle essentiel est le maintien de la pression artérielle et la mobilisation énergétique en cas d'agression.

La NA et l'AD sont synthétisées à partir de la phénylalanine. Les produits intermédiaires sont les **métanéphrines**. La NA est également synthétisée par les terminaisons des neurones.

Le terme métabolique commun est l'acide vanylmandélique (VMA) dont l'élimination urinaire est < 1 mg/24 heures.

► Effets physiologiques

Les catécholamines agissent sur des récepteurs α et β :

- les α -récepteurs provoquent surtout une vasoconstriction en particulier splanchnique et des muscles lisses ;
- les β -récepteurs entraînent les effets contraires. Suivant l'équipement de l'organe en tel ou tel type

Pour comprendre

La glande surrénale joue un rôle vital puisqu'elle assure l'équilibre de trois substances vitales pour l'organisme : le sodium, le potassium, le glucose.

Le sodium est l'ion EXTRAcellulaire. C'est lui qui est chargé de maintenir la **pression osmotique** dans les vaisseaux et les espaces extracellulaires, situés entre les tissus et les organes. Toute perte de sodium provoque une perte d'eau et une tendance à la baisse de la pression artérielle et de la quantité d'eau entre les tissus.

Tout excès en sodium dans un espace ou un tissu provoque un appel d'eau et une augmentation du volume de l'espace concerné. La rétention sodée provoque une hypertension artérielle.

Le potassium est l'ion INTRAcellulaire. Ses mouvements suivent en général ceux du sodium : leur échange génère de l'énergie au niveau des cellules (pompe à sodium). Certains tissus sont particulièrement sensibles à la perte de potassium : muscles (surtout cœur), reins, nerfs.

Le glucose est l'élément énergétique le plus important. Son taux sanguin et sa pénétration dans les cellules sont sous la dépendance de l'insuline mais son taux cellulaire et surtout son renouvellement hépatique sont dépendants de l'hydrocortisone. La surrénale intervient également de façon majeure dans la répartition de l'eau, mais cet effet est indirect et passe par l'action de l'hydrocortisone et de l'aldostérone.

de récepteurs, les conséquences ne sont pas les mêmes.

Les deux effets majeurs sont cependant : hypertension artérielle et hyperglycémie.

L'excès de catécholamines s'observe au cours des **phéochromocytomes** (figure 9.7).

Métabolisme des hydrates de carbone

Toutes les cellules animales utilisent préférentiellement les hydrates de carbone, et surtout le glucose, comme fournisseur d'énergie.

► Apports en hydrates de carbone (HC) ou glucides ou sucres

L'alimentation humaine comporte idéalement un apport en hydrates de carbone qui représente 50 % de la ration énergétique.

Pour une activité moyenne (ni trop sédentaire, ni « de force ») l'alimentation est équilibrée pour des apports de 25 à 30 cal/kg/j. chez la femme et 35 à 40 cal/kg/j. chez l'homme adulte.

Comme 1 g de glucose fournit 4 cal (16,6 kilojoules), les apports moyens en HC représentent 200 à 300 g/j.

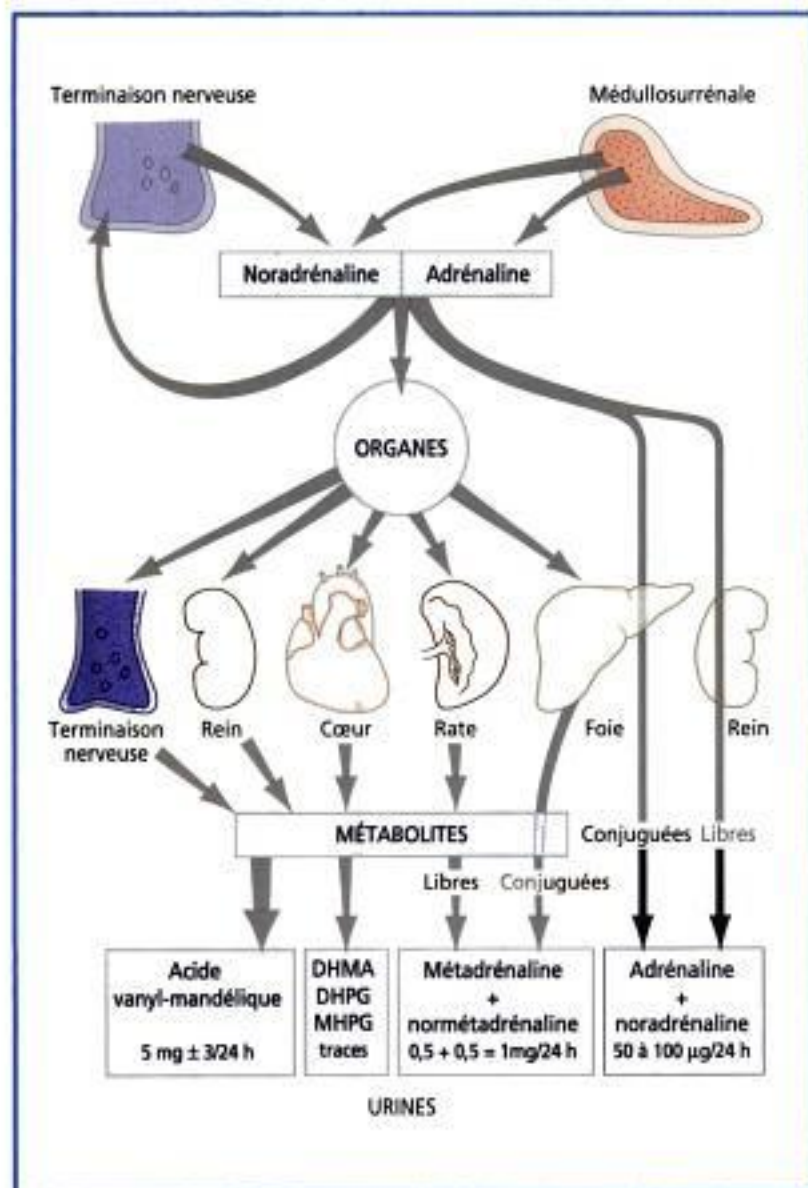


Figure 9.7. L'élimination des catécholamines.

► Sources d'hydrates de carbone

Les hydrates de carbone alimentaires sont de source principalement végétale. Les apports sont complétés par les laitages et les sucres raffinés. Ceux contenus dans les pommes de terre, les féculents, sont apportés sous forme d'amidon.

Tous ces sucres doivent être digérés pour être absorbés sous forme de glucose, galactose, lactose ou fructose.

Une partie des hydrates de carbone est apportée sous forme simple (oses) comme le fructose contenu dans les fruits, le galactose du lait.

► Absorption intestinale des sucres

Une fois réduits en sucres simples sous l'action des enzymes digestives, les hydrates de carbone sont absorbés par la muqueuse intestinale et déversés dans la circulation porte qui se dirige vers le foie.

► Rôle du foie dans le métabolisme des hydrates de carbone

Le foie possède ce rôle pratiquement unique dans l'organisme de pouvoir assurer, dans toutes les circonstances, la fourniture de glucose suivant les besoins.

Il fournit en moyenne 1,5 à 2 mg/kg/min. de glucose. Les hormones permettant d'augmenter le stockage de glycogène dans le foie sont l'insuline et les cortisoniques. La libération supplémentaire de glucose est sous la dépendance des catécholamines et du glucagon.

À RETENIR

Le foie est le seul organe fournisseur de glucose à l'organisme : environ 250 à 300 g/24 h. Cette propriété unique du foie explique que, même en l'absence de tout apport alimentaire, la fourniture de glucose à l'organisme ne cesse jamais.

► Utilisation des hydrates de carbone par les cellules

Toutes les cellules de l'organisme utilisent le glucose : la combustion de la molécule se fait par une série de réactions enzymatiques. Le processus s'appelle glycolyse et a pour but de fournir de l'énergie et de la chaleur. La glycolyse peut se faire en présence d'oxygène (réactions aérobies) ou en son absence (en anaérobie).

À RETENIR

Un homme adulte, ayant une activité moyenne dépensant 2400 kcal/j est équilibré avec un apport équivalent :

- 50 % de glucides = 1200 kcal soit 300 g/j. (1 g = 4 kcal);
- 30 % de lipides = 720 kcal soit 80 g/j. (1 g = 9 kcal);
- 20 % de protéides = 480 g soit 120 g/j. (1 g = 4 kcal).



Pour comprendre

Le taux de la glycémie est conservé à niveau constant (0,80 à 1,20 g/L = 4,4 à 6,6 mmol/L). Elle résulte de l'équilibre entre les combustions par l'organisme et les apports par le foie, qui est lui-même « rechargé » par l'alimentation (figure 9.8).

- Le **débit glucosé hépatique** est d'environ 1,5 à 2 mg/kg/min, ce qui représente 250 à 300 g de glucose par 24 h.
- Cette quantité de glucose est utilisée parce que l'insuline lui permet d'entrer dans les cellules.

– Elle est remplacée par le glucose fourni par l'alimentation.

En cas de nécessité, une quantité supplémentaire de glucose est libérée par le foie sous l'influence d'une décharge d'adrénaline et de glucagon. Mais le foie a une réserve limitée à 12 heures (environ 100 à 150 g de glucose). Lorsque les apports alimentaires cessent, le foie fabrique du glucose à partir des protéines et très accessoirement des lipides (néoglucogenèse).

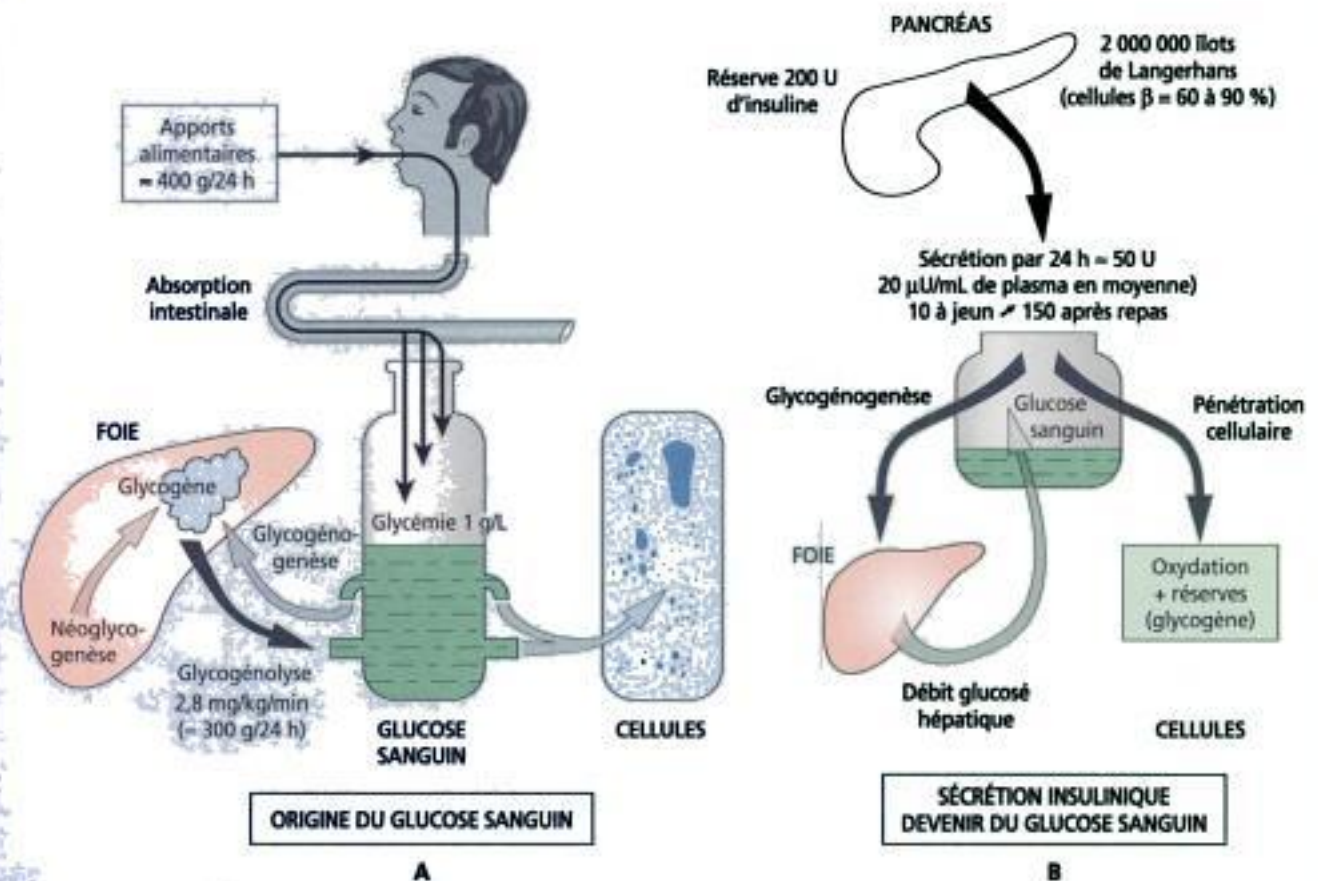


Figure 9.8. a. Origine du glucose sanguin. b. Sécrétion insulinaire, devenir du glucose sanguin.

● **Glycolyse aérobie (voie d'Embden-Meyerhof).** C'est la voie fondamentale d'utilisation du glucose par les cellules. Elle fournit de l'énergie sous forme d'ATP, de la chaleur et des substrats nécessaires aux réactions de biosynthèse.

La combustion totale d'une molécule de glucose fournit 686 000 cal (2 860 kilojoules).

● **Glycolyse anaérobie.** Elle a pour fonctions fondamentales de promouvoir par des réactions enzymatiques la biosynthèse des lipides et des acides nucléiques.



Pancréas endocrine : le glucose

► Sécrétions

L'anatomie du pancréas, glande mixte exocrine (digestive) et endocrine, est décrite par ailleurs page 93, dans le chapitre 5.

Le pancréas endocrine est essentiellement localisé dans la queue du pancréas; ce sont les cellules de Langerhans qui sécrètent l'insuline, seule hormone hypoglycémisante de l'organisme.

Les îlots de Langerhans contiennent aussi :

- les cellules A qui sécrètent le glucagon;
- les cellules D qui sécrètent la somatostatine.

► Insuline

L'insuline est formée de deux chaînes polypeptidiques : la chaîne A (21 acides aminés) et la chaîne B (30 acides aminés).

Les deux chaînes sont d'abord réunies par un peptide de connexion : le C peptide; celui-ci est séparé puis sécrété en même temps que l'insuline et en même quantité.

Le dosage radio-immunologique du peptide C est faisable chez les diabétiques traités par l'insuline, pour mesurer la capacité sécrétoire de la cellule β .

Régulation de l'insulinosécrétion

L'agent insulino-stimulant le plus puissant est le glucose. Le débit de sécrétion d'insuline est étroitement lié à la concentration glucosée du plasma qui se manifeste pour des concentrations comprises entre 0,80 et 3 g/L. À chaque instant, la cellule β ajuste sa sécrétion à la glycémie, maintenant un taux stable. Un taux excessif de glucose a au contraire une action « glucotoxique » qui bloque la sécrétion d'insuline.

La présence extracellulaire de calcium est indispensable pour que se manifeste la réponse insulinaire à un stimulus glucosé.

À l'état physiologique :

- tout excès d'insuline met au repos la cellule β et inversement;
- le glucagon a chez l'homme, un effet insulino-sécréteur qui paraît dépendre de la concentration en glucose du milieu.

Libération de l'insuline

La sécrétion de l'insuline est caractérisée par une double pulsativité : l'une rapide, dont la fréquence est réglée toutes les 15 minutes et des oscillations lentes de 90 à 120 minutes. Des quantités supplémentaires d'insuline (bolus) sont sécrétées en fonction des besoins, à chaque ingestion de produits glucidiques.

Cette pulsativité ne peut pas être reproduite par des injections mais elle peut être mimée par les pompes à insuline.

Action cellulaire de l'insuline

L'insuline agit en se fixant sur des récepteurs.

Les récepteurs sont formés de deux parties dont l'une est en dehors de la cellule (sous-unité α), et l'autre à l'intérieur (sous-unité β).

Les récepteurs fixent l'insuline pour laquelle ils ont une grande affinité. Lorsque l'hormone se fixe sur le récepteur, elle déclenche un signal.

- Les actions cellulaires de l'insuline dépendent évidemment des cellules sur lesquelles elle agit mais, de toute façon, elle fait passer le glucose sanguin vers l'intérieur des cellules de l'organisme en activant des transporteurs de glucose nommés GLUT et dont on connaît au moins six variétés.
- Les cellules hépatiques vont augmenter de façon considérable la synthèse de glucose (néoglucogénèse), tandis que les cellules adipeuses s'orientent vers une lipogénèse intense et accélérée.

Rôle métabolique global de l'insuline

Sur le métabolisme glucidique, à l'état basal, le foie libère des quantités de glucose variant entre 1,5 et 2 mg/min/kg de poids corporel.

Même en l'absence d'insuline, la membrane hépatocytaire est perméable au glucose. L'action de l'insuline est dirigée vers l'utilisation immédiate du glucose, déclenchant une hypoglycémie :

- pénétration massive du glucose dans le foie par activation des transporteurs et son utilisation immédiate;
- glycogénogénèse;
- glycolyse.

Au niveau du tissu adipeux : l'insuline augmente la captation globale adipocytaire du glucose et a un effet antilipolytique.



Concernant le **métabolisme protidique**, l'insuline favorise l'incorporation des acides aminés dans les protéines.

Glandes parathyroïdes : le calcium

ANATOMIE

► Anatomie descriptive et rapports

Il existe normalement quatre glandes parathyroïdes : deux supérieures et deux inférieures.

Ce sont de petites glandes : 6 mm × 3 mm × 1,5 mm. Elles pèsent environ 30 à 40 mg.

Habituellement ovales, de couleur brun chamois, les glandes sont situées derrière les lobes thyroïdiens (deux aux pôles supérieurs et deux aux pôles inférieurs).

Il peut exister des parathyroïdes ectopiques, en particulier dans le médiastin, ce qui complique la tâche du chirurgien en cas de tumeur.

Le rapport essentiel est la **glande thyroïde** : les parathyroïdes sont dans une capsule propre qui permet de les séparer de la thyroïde.

Les parathyroïdes sont proches de l'artère thyroïdienne inférieure, de la veine thyroïdienne moyenne et du **nerf récurrent** (+++), qui commande les cordes vocales, et de sa chaîne lymphatique.

► Vascularisation

Les parathyroïdes sont vascularisées par une artère terminale, issue en général de l'artère thyroïdienne inférieure. Ce fait explique qu'une intervention sur la glande thyroïde peut léser définitivement une parathyroïde en cas de lésion artérielle chirurgicale.

- Les veines rejoignent la veine thyroïdienne moyenne.
- Les lymphatiques sont les mêmes que ceux de la thyroïde.

PHYSIOLOGIE

Le rôle des glandes parathyroïdes est de maintenir constant le taux de calcium dans l'organisme (figure 9.9).

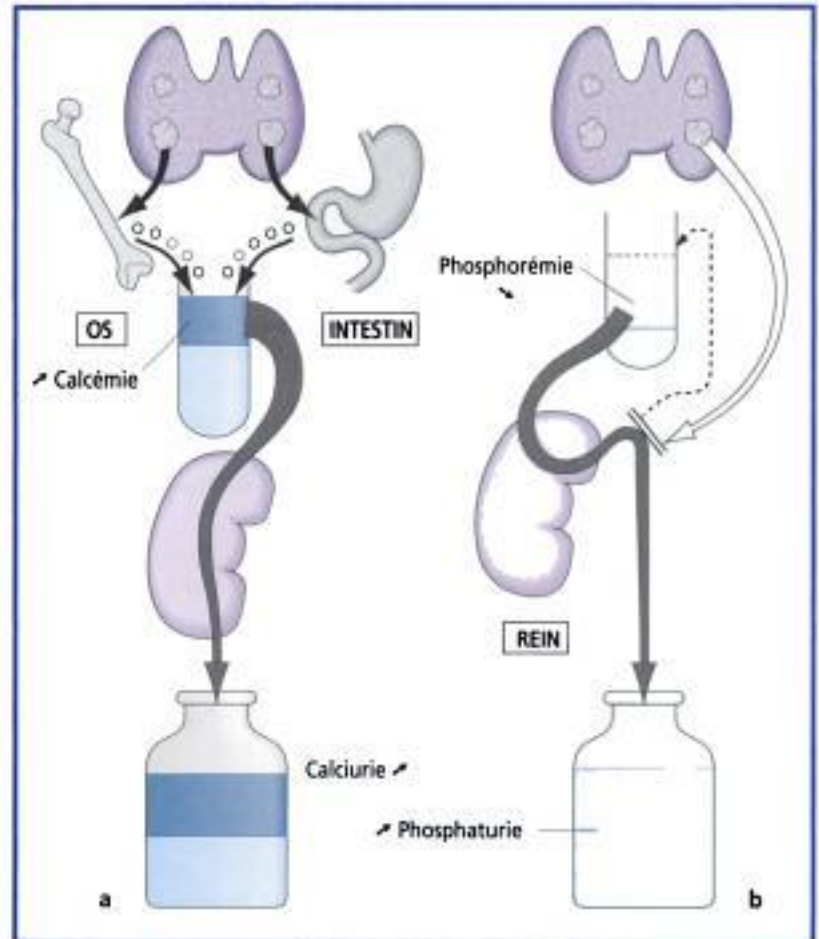


Figure 9.9. L'action des parathyroïdes sur le calcium et le phosphore.

a. Sur le calcium : hypercalcémie, hypercalciurie secondaire. b. Sur le phosphore : hyperphosphaturie, hypophosphorémie secondaire.

► Parathormone (PTH)

La PTH est sécrétée dans les cellules principales des glandes parathyroïdes. On connaît la localisation du gène de la PTH sur le bras court du chromosome 11. L'hormone finale comporte 84 acides aminés.

La PTH se fixe sur des récepteurs membranaires spécifiques. Elle agit au triple niveau digestif, osseux et rénal, en activant l'adénylcyclase, fournissant ainsi des quantités importantes d'AMPc, c'est-à-dire d'énergie cellulaire.

● **Sur l'intestin.** La PTH potentialise les effets du 1- α -25-dihydroxycholecalciférol (vitamine D), dont l'action sur le noyau est de promouvoir la synthèse des protéines du transport calcique. Elle augmente ainsi l'absorption du calcium alimentaire.

Hidden page

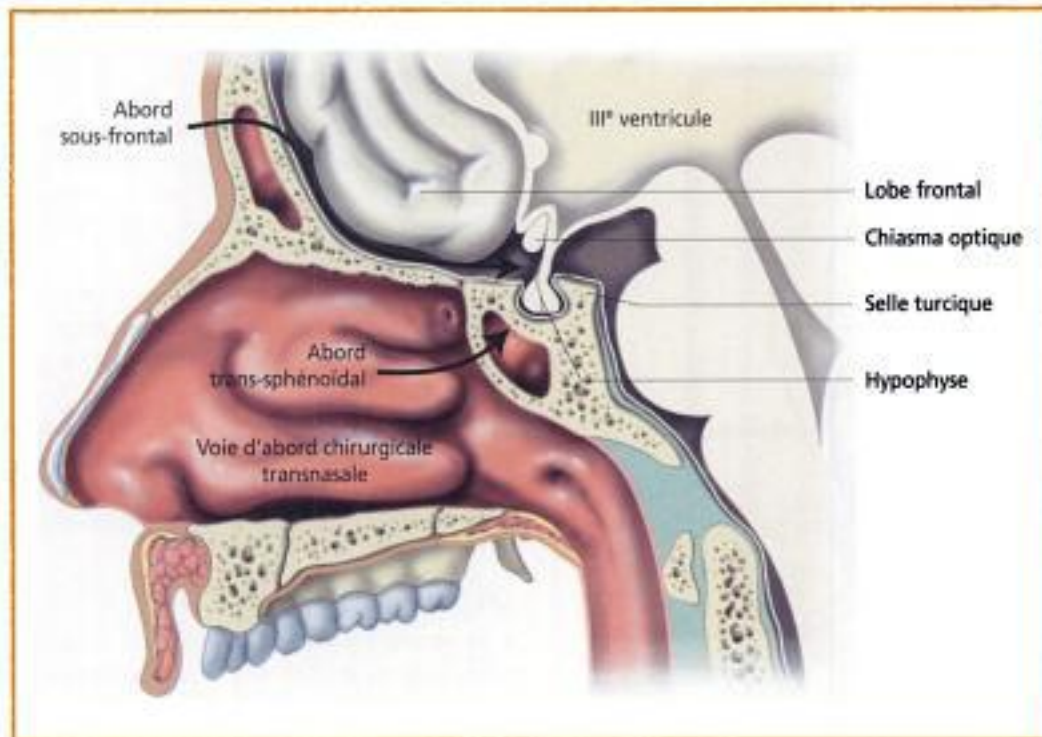


Figure 9.10. L'hypophyse.

Sinus sphénoïdal

Il s'agit de la cavité creusée dans le corps de l'os sphénoïde juste en avant de l'hypophyse. La paroi de l'os est très mince et communique avec les fosses nasales, ce qui permet d'aborder l'hypophyse par cette voie.

Tronc basilaire et protubérance

Ils sont en arrière de la lame quadrilatère qui forme la paroi postérieure de la selle turcique.

► **Vascularisation**

L'hypophyse est richement vascularisée par deux systèmes.

Système artériel hypophysaire

Il est issu des artères hypophysaires supérieures qui proviennent de l'artère carotide interne.

Il se draine vers le sinus caveux.

Système porte hypothalamo-hypophysaire

C'est un réseau particulier qui conduit le sang de l'hypothalamus vers l'hypophyse et inversement draine le sang hypophysaire vers l'hypothalamus.

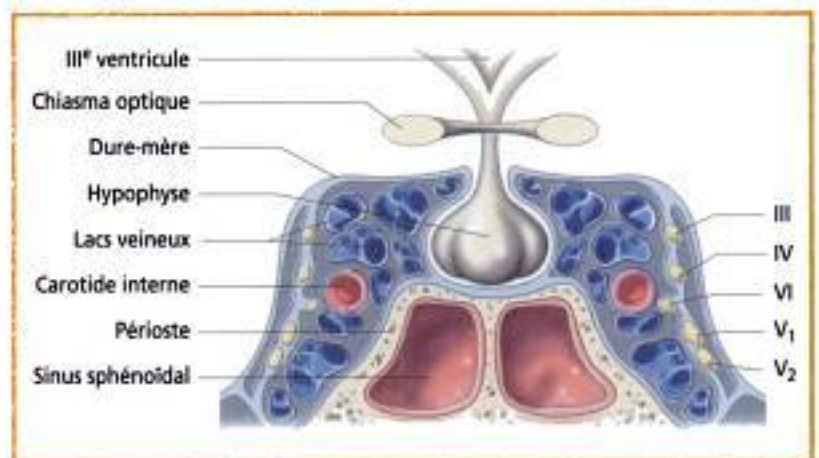


Figure 9.11. La coupe verticale de l'hypophyse au niveau du sinus caveux.

PHYSIOLOGIE

L'antéhypophyse sécrète des **stimulines** qui ont pour rôle d'agir sur des glandes « périphériques » : thyroïde, gonades, surrénales (figure 9.12). Elle fabrique aussi des **hormones** à part entière : l'hormone de croissance ou GH (Growth Hormone) et la prolactine (PRL).

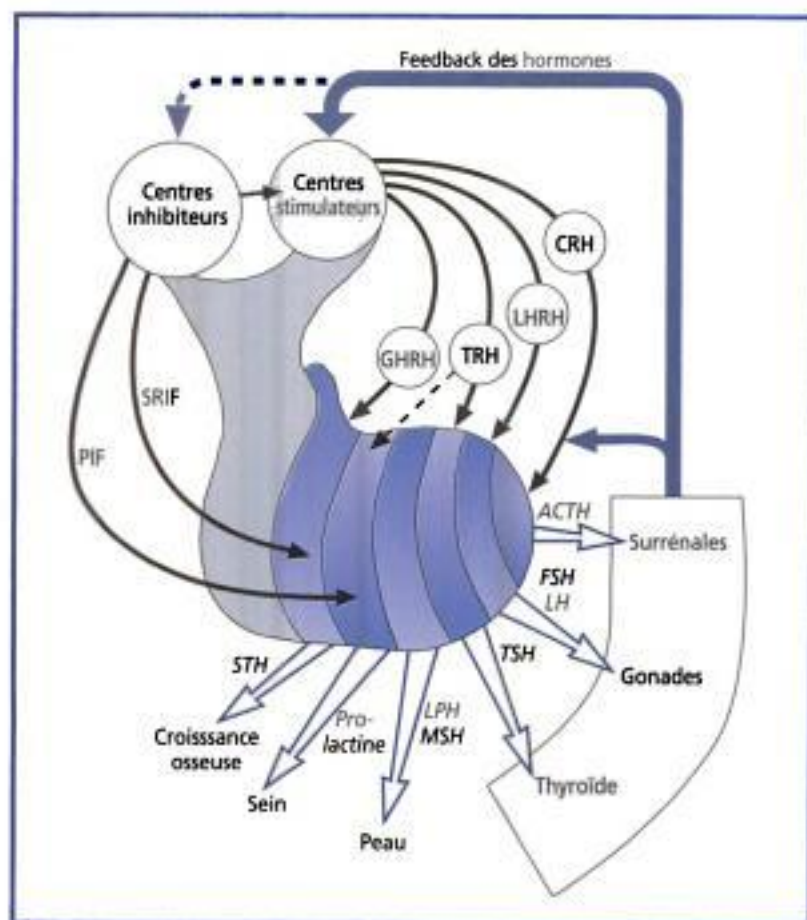


Figure 9.12. Physiologie de l'hypophyse.

► Stimulines

Hormones gonadotropes

Les deux gonadotrophines FSH et LH sont présentes dans les mêmes cellules, mais on trouve également des cellules ne sécrétant qu'une seule des deux hormones.

FSH (Follicular Stimulating Hormone)

● **Structure, sécrétion.** Hormone polypeptidique formée de deux sous-unités.

La sécrétion de la FSH varie au cours du cycle menstruel :

- elle augmente régulièrement dans la première partie du cycle ;
- elle atteint un pic avant le déclenchement de l'ovulation ;
- puis elle diminue dans la phase postovulatoire, et reste en plateau plusieurs jours avant de s'effondrer avant la menstruation.

La GnRH hypothalamique contrôle les variations normales de la sécrétion de FSH.

● Effets biologiques

Effets sur l'ovaire. La FSH intervient dans le recrutement des follicules primordiaux, c'est-à-dire ceux qui sont destinés à devenir des ovocytes. Le temps nécessaire pour recruter un follicule chez la femme est de 13 à 15 jours.

(Le follicule sécrète des α et β -inhibines, qui inhibent la sécrétion de FSH par l'hypophyse, empêchant ainsi la croissance d'autres follicules primordiaux.)

Effets sur le testicule. La FSH a essentiellement pour action de développer la spermatogenèse dans les tubes séminifères, et de stimuler la sécrétion de testostérone. Les cellules de Sertoli synthétisent de l'inhibine.

LH (Luteinizing Hormone)

● **Structure, sécrétion.** La LH est une hormone polypeptidique de 204 acides aminés, formée de deux sous-unités α et β . LH diffère de FSH par la sous-unité β .

Chez la femme, sous l'influence de l'horloge hypothalamique, la LH est sécrétée à partir de la puberté toutes les 90 minutes.

Chez l'homme, la LH n'est pas sécrétée de façon cyclique. La spermatogenèse est continue ainsi que la sécrétion androgénique.

● **Effets biologiques.** La LH a une action majeure sur la stéroïdogenèse.

Chez la femme, elle stimule les cellules de la thèque interne de l'ovaire et provoque l'activation de l'aromatase qui transforme les androgènes en œstrogènes.

Elle déclenche l'ovulation, et elle stimule la synthèse des hormones par le corps jaune après la ponte ovulaire.

Chez l'homme, elle entraîne la production de testostérone par les cellules de Leydig du testicule.

● **Régulation de la sécrétion.** Le principal régulateur de la sécrétion de LH chez la femme est le 17- β -œstradiol qui agit lui-même sur le GnRH.

Chez l'homme, les androgènes ont une action suppressive sur la sécrétion de LH.

Tout se passe comme si le cerveau, même adulte, avait subi une différenciation sexuelle.

● **En pathologie.** Les dosages de LH permettent d'explorer le cycle menstruel et surtout la régulation hypophyso-gonadique.



Thyréostimuline (TSH)

● **Structure, sécrétion.** La TSH est une hormone glycoprotéique, formée de deux sous-unités α et β qui sont ensuite unies pour former la TSH définitive.

La TSH est sécrétée de façon permanente. Son taux plasmatique est faible : 1 à 4 ng/mL. La sécrétion de TSH est sous la dépendance de la TRH hypothalamique, elle-même stimulée par la baisse de T_3 et T_4 et freinée par l'augmentation des taux circulants des hormones thyroïdiennes.

● **Effets biologiques.** La TSH augmente fortement le nombre et la taille des cellules thyroïdiennes et elle stimule la sécrétion de T_3 et T_4 .

● **En pathologie.** Le dosage de TSH est intéressant dans le diagnostic des hypothyroïdies, permettant de distinguer celles qui sont d'origine hypophysaire de celles qui sont thyroïdiennes. En revanche les tumeurs à TSH sont exceptionnelles.

Corticotrophine (ACTH)

● **Structure et sécrétion.** L'ACTH est une molécule de 39 acides aminés fabriquée à partir d'une pré-prohormone (proopiomélanocortine ou POMC) dont le clivage donne naissance à plusieurs produits actifs.

L'ACTH agit en stimulant la glande corticosurrénale. L'ACTH est sécrétée de façon continue mais à des taux variables suivant les heures : le minimum se situe entre 22 heures et 2 heures du matin. Puis l'ACTH est sécrétée par « pulses » toutes les 15 minutes en moyenne.

À RETENIR

Le taux de prolactine est normalement inférieur à 15 ng/mL chez la femme.

La sécrétion d'ACTH est réglée par le cortisol qui agit essentiellement sur le CRH hypothalamique qui commande lui-même la sécrétion d'ACTH.

● Mode d'action

– **Sur la surrénale.** L'ACTH agit sur les cellules des couches réticulées et fasciculées de la corticosurrénale. Elle stimule la production de l'ensemble des hormones.

– **Les actions extrasurréaliennes.** L'ACTH mobilise la graisse à partir des adipocytes. Elle exerce une indiscutable action antioedémateuse au cours de tumeurs malignes neurologiques.

● **En pathologie.** L'ACTH est élevée dans les tumeurs de l'hypophyse telles la maladie de Cushing, freinée dans les hyperfonctionnements surrénaliens primitifs telles les tumeurs surréaliennes sécrétantes.

► Somatotrophine (STH) ou hormone de croissance (Growth Hormone : GH)

● **Structure et sécrétion.** La GH est une chaîne polypeptidique de 191 acides aminés très spécifique de chacune des espèces vivantes. Les techniques de génie génétique ont permis d'obtenir de l'hormone « humaine » utilisable chez l'homme.

Les cellules somatotropes fabriquent la GH et forment environ 50% de l'antéhypophyse. Elles sont situées principalement dans les parties latérales du lobe antérieur.

La sécrétion de GH est sous la dépendance d'un GHRF (Growth Hormone Releasing Factor). Elle est inhibée par la somatostatine.

Le taux de GH est augmenté pendant le sommeil et en cas d'hypoglycémie. À l'inverse, l'hormone est mise au repos par l'hyperglycémie.

● Action

La GH permet la synthèse et l'action de facteurs de croissance produits par le foie : les somatomédines ; encore appelés IGF (Insulin like Growth Factors).

Ainsi la somatomédine A est appelée IGF I et la somatomédine C est l'IGF II.

Les IGF déclenchent plus particulièrement :

- la croissance des cartilages épiphysaires ;
- l'anabolisme musculaire ;
- la croissance des cellules.

● **En pathologie.** L'élévation du taux de la somatotrophine est le critère majeur du diagnostic d'acromégalie.

Les tests de stimulation par la somatocrine (GHRH), l'hypoglycémie, les acides aminés basiques (arginine, ornithine) sont utilisés dans le diagnostic des hypopituitarismes.

► Prolactine (PRL)

● **Structure et sécrétion.** La prolactine contient 199 acides aminés.

Les cellules à PRL représentent 20 à 25 % des cellules antéhypophysaires. Le nombre des cellules à PRL est très variable.



À RETENIR

Les taux maximaux se situent vers 8 h du matin atteignant 60 à 80 pg/mL.

La **dopamine** issue de l'hypothalamus freine normalement la prolactine ce qui explique que les substances produisant le même effet (agonistes) (*Parlodel*, *Norprolac*) sont également de puissants inhibiteurs de la sécrétion prolactinique.

À l'inverse, certains produits comme les **réserpiniques** et les **œstrogènes** augmentent le nombre des cellules lactotropes.

La TRH enfin est un très puissant stimulant de la synthèse et de la sécrétion de prolactine.

À RETENIR

La sécrétion de prolactine normale est inférieure à 30 ng/mL à jeun. Elle n'augmente notablement qu'au cours de la grossesse.

- **Action.** La prolactine provoque, au niveau de la glande mammaire, la sécrétion de deux enzymes clés de la fabrication du lait : la lactose synthétase et l' α -lactalbumine.
- **En pathologie.** Le dosage de la prolactine permet de faire le diagnostic des hyperprolactinémies organiques (hyperplasies ou tumeurs hypophysaires) ou fonctionnelles.

Glande thyroïde

Le nom thyroïde provient du grec « thyros » qui signifie « bouclier », celui que portaient les guerriers grecs pour se protéger et dont la glande a la forme.

ANATOMIE

► Anatomie descriptive et rapports

La thyroïde est brun rouge, de consistance assez molle; elle comporte deux lobes latéraux, droit et gauche reliés par un isthme (figure 9.13). Elle mesure 6 cm en hauteur, 6 cm en largeur et 1,5 cm en épaisseur. Elle pèse environ 30 g chez l'adulte.

- Les lobes latéraux ont la forme d'un cône ou d'une pyramide arrondie d'environ 6 cm de haut,

Ils s'étendent depuis le cartilage thyroïde en haut jusqu'au 6^e anneau trachéal en bas.

- **L'isthme**, large de 1 cm, est plaqué contre les 2^e, 3^e et 4^e anneaux de la trachée.

La thyroïde est située dans une loge formée par des enveloppes de tissu conjonctif solide. La thyroïde est solidaire de l'axe trachéo-œsophagien.

Trachée

Les goitres (hypertrophie de la glande thyroïde) montent et descendent avec les mouvements de la déglutition.

Œsophage

Il adhère à la face postérieure de la trachée.

Nerfs récurrents

Nerfs moteurs des cordes vocales, ils longent l'angle entre trachée et œsophage. Ils sont tout proches de la thyroïde.

Un cancer ou un gros goitre peuvent comprimer les récurrents et provoquer des troubles de la voix (dysphonie).

Glandes parathyroïdes

Elles sont accolées à la partie postérieure des lobes thyroïdiens.

En dehors de la loge : le cou

La glande thyroïde est assez superficielle.

Lorsqu'on palpe le cou, on perçoit de la superficie à la profondeur :

- la peau;
- le tissu cellulaire sous-cutané;
- l'aponévrose cervicale superficielle, qui engaine quatre muscles formant un losange : en haut les muscles sterno-cléido-mastoïdiens, en bas les sterno-thyroïdiens.

Ce losange est important car il sert de point de repère à la trachéotomie.

De chaque côté, le paquet vasculo-nerveux du cou : artères carotides, veines jugulaires, internes, nerf grand hypoglosse, plexus cervical.

► Vaisseaux et nerfs

- Deux artères thyroïdiennes (supérieure et inférieure) plus une artère thyroïdienne moyenne irriguent la thyroïde.
- Les veines supérieures accompagnent seules les artères.

Hidden page



- fixé sur des acides aminés particuliers : les tyrosines;
- les tyrosines sont couplées 2 par 2 pour former les hormones thyroïdiennes ou thyronines.

Il existe deux types d'hormones thyroïdiennes :

- la triiodothyronine ou T_3 (qui contient trois atomes d'iode);
- la tétraiodothyronine ou thyroxine ou T_4 (qui contient quatre atomes d'iode).

Les hormones thyroïdiennes sont stockées dans les follicules thyroïdiens sous forme de **thyroglobuline**.

► Sécrétion hormonale

Les hormones thyroïdiennes sont sécrétées dans le sang en fonction des besoins.

La T_4 est l'hormone sécrétée en plus grande quantité mais ce n'est pas la forme immédiatement active.

L'organisme fabrique environ 150 à 200 μg de T_4 par jour soit environ 0,5 $\mu\text{g/kg/j}$. Ce sont ces quantités qu'il faut remplacer en cas d'hypothyroïdie.

La T_3 est l'hormone directement active sur les tissus.

► Transport des hormones thyroïdiennes

Les hormones thyroïdiennes plasmatiques circulent liées à des protéines de transport : la TBG (Thyroid Binding Globulin) surtout, mais aussi l'albumine et la préalbumine (Thyroxine Binding Prealbumine, TBPA); la fraction libre des hormones thyroïdiennes ne représentant que 0,03 % de T_4 et 0,4 % de T_3 .

Du fait de leur liaison très importante aux protéines plasmatiques, les hormones thyroïdiennes ont une demi-vie plasmatique très longue : 7 jours pour la T_4 et 36 heures pour la T_3 .

À RETENIR

Taux plasmatique moyen de T_4 :
40 à 120 $\mu\text{g/l}$ (65 à 165 nmol/l)
Taux plasmatique moyen de T_3 :
0,6 à 1,8 $\mu\text{g/100 mL}$ (1,2 à 2,1 nmol/L)

► Régulation de la sécrétion thyroïdienne

Le taux des hormones thyroïdiennes est remarquablement constant dans le plasma. Il est assuré par la TSH (thyroïdostimuline) hypophysaire : si le taux des hormones thyroïdiennes baisse, la TSH est stimulée et déclenche la sécrétion de T_4 et T_3 ; à l'inverse lorsque ce taux augmente la TSH est freinée par le rétrocontrôle.

À RETENIR

Taux plasmatique de TSH :
0,1 à 5 $\mu\text{U/mL}$

► Actions des hormones thyroïdiennes

Les hormones thyroïdiennes accélèrent les réactions métaboliques. En effet, elles stimulent la synthèse de la plupart des protéines enzymatiques en agissant au niveau des noyaux, lors de la transcription des ARNm en protéines.

Sur les métabolismes

- glucidique : tendance à l'hyperglycémie;
- lipidique : lipolyse avec fonte adipeuse et baisse des lipides plasmatiques;

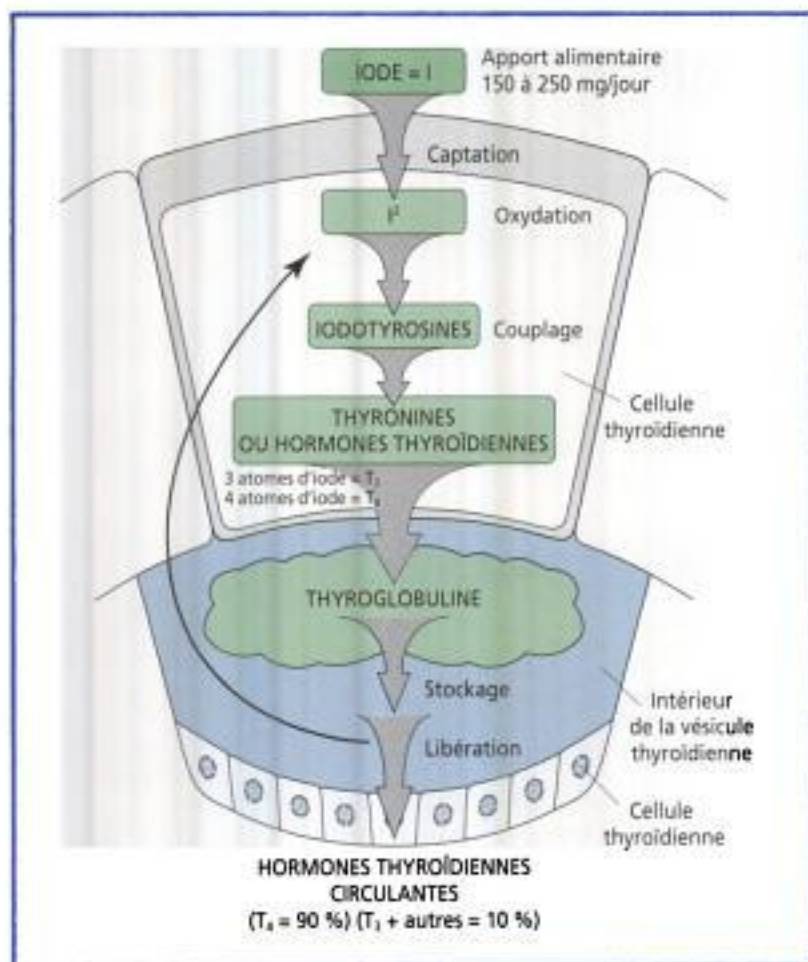


Figure 9.14. La biogenèse des hormones thyroïdiennes.



- protidique : augmentation du catabolisme azoté ;
- hydrique : hypersudation et soif...

Sur les tissus

Les hormones thyroïdiennes agissent sur tous les tissus mais particulièrement sur :

- le **tissu musculaire** : accélération de la conduction (myocarde) et de la contraction (muscles périphériques) ;
- le **tissu nerveux** : accélération de la conduction nerveuse, diminution du temps de réaction réflexe ;
- le **tube digestif** : accélération du temps de transit.

Tableau 9.2. Origine de la T_3 liée spécifiquement aux récepteurs nucléaires de divers tissus

Tissus	% d'origine plasmatique	% produit par la cellule
Adénohypophyse	50	50
Cortex cérébral	20	80
Cervelet	40	60
Rein	90	10
Foie	75	25

Sur les cellules cibles

- Il a été mis en évidence un transporteur de T_4 , Na^+ et ATP dépendant. À l'intérieur des cellules, T_4 est désiodée ou transformée en T_3 qui est 8 fois plus active et transportée vers le noyau des cellules.
- Tous les tissus de l'organisme fonctionnent de façon proportionnelle à la quantité d'hormones thyroïdiennes à laquelle ils sont soumis. Celles-ci agissent par le biais de récepteurs nucléaires (TR).

Les effets des hormones thyroïdiennes se produisant sur des séquences nucléotidiques spécifiques sont donc des **effets génomiques**.

- Les **récepteurs sont inégalement répartis** : les hépatocytes disposent de 5 000 sites récepteurs nucléaires à la T_3 , comparés aux 8 000 récepteurs de l'antéhypophyse.

► Le fonctionnement de la thyroïde est régulé par la TSH

● **Action.** Cette glycoprotéine, sécrétée par des cellules spécialisées de l'antéhypophyse, est constituée d'une sous-unité α commune aux hormones glycoprotéiques (LH, FSH, HCG) et d'une sous-unité β spécifique. La TSH se lie aux récepteurs membranaires des thyrocytes et stimule, via une protéine G, l'adénylcyclase et la phospholipase C. Elle active toutes les étapes du métabolisme iodé, depuis la captation de l'iode jusqu'à la sécrétion hormonale, ainsi que la synthèse de la peroxydase et de la thyroglobuline. Sa demi-vie est de 60 minutes.

● **Régulation.** La TSH subit un double contrôle hypothalamique. La TRH stimule sa sécrétion, tandis que la somatostatine et la dopamine l'inhibent. De plus, les hormones thyroïdiennes exercent un rétrocontrôle négatif sur la synthèse et la libération de la TSH et de la TRH. Ainsi, par exemple, une augmentation de T_3 et T_4 plasmatiques entraîne une diminution de la sensibilité de l'antéhypophyse à la TRH. Il s'ensuit une baisse de sécrétion de la TSH et, en conséquence, une diminution du taux de T_3 et de T_4 .

Sang et système immunitaire



Le sang et le système immunitaire représentent des tissus particuliers, disséminés dans l'organisme, ubiquitaires mais condensés dans la moelle osseuse, les ganglions, la rate (figure 10.1). Ils sont intriqués avec les deux systèmes circulatoires : les artères et veines où circulent le sang et le réseau lymphatique véhiculant la lymphe.

ANATOMIE

On distingue trois ensembles principaux.

► Tissu myéloïde

Comme son nom l'indique, il se rattache principalement à la **moelle osseuse** où sont produits la plupart des globules sanguins. La moelle est contenue au sein des os de l'ensemble du squelette chez le jeune, avant de se concentrer, sous forme de moelle rouge, dans les os plats et les extrémités des os longs chez l'adulte, laissant la place à une moelle jaune, faite principalement de tissu adipeux, dans le fût des os longs.

Cette moelle hématopoïétique — qui fabrique les cellules du sang — occupe des logettes situées au sein de l'os compact, comme on peut l'observer par exemple sur une biopsie ostéomédullaire qui permet de retirer une « carotte » contenant en général 10 à 20 logettes (figure 10.2). Son examen au microscope a lieu après décalcification pour pouvoir découper en tranches fines le prélèvement.

C'est là que sont produites les **cellules sanguines** qui se partagent en trois catégories (figure 10.3) :

- les globules rouges ou hématies ou érythrocytes, cellules qui ont perdu leur noyau et transportent principalement l'hémoglobine ;
- les globules blancs ou leucocytes sous forme de granulocytes — naguère appelés polymorphonucléaires — contenant des granules qui sont basophiles ou éosinophiles dans une minorité de cellules, neutrophiles dans la majorité d'entre elles ; ces cellules jouent un rôle dans les défenses de l'organisme ;
- les plaquettes qui sont en réalité des fragments venant d'une grosse cellule médullaire éclatée, le mégacaryocyte, et jouent un rôle dans l'hémostase.

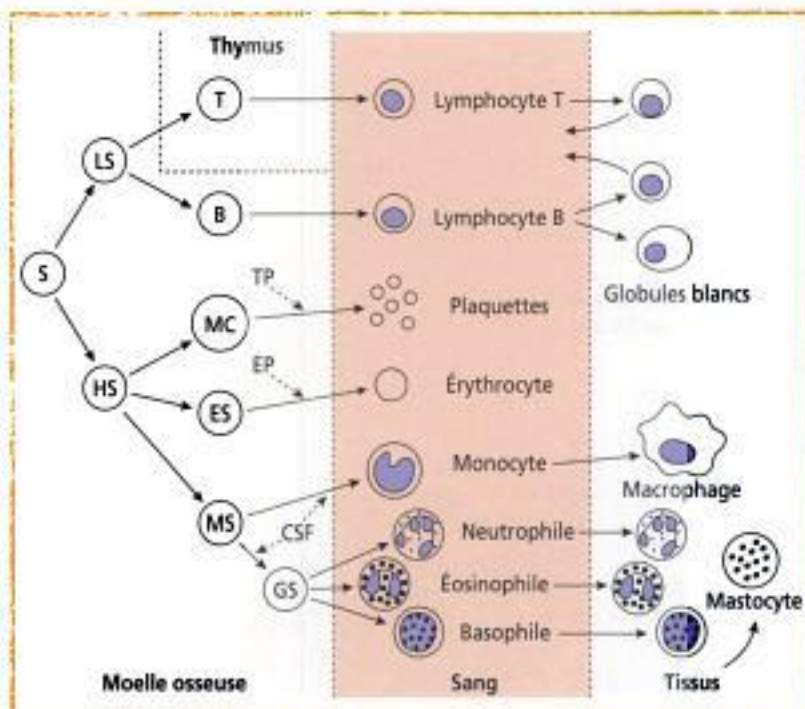


Figure 10.1. L'origine des cellules sanguines.

Les cellules souches (S) donnent, via les cellules souches lymphoïdes (LS), les lymphocytes T et B. Les cellules souches hématopoïétiques (HS) via les mégacaryocytes (MC), les cellules souches érythroïdes (ES), les cellules souches myéloïdes (MS) et les cellules souches des granulocytes (GS), sont à l'origine de toutes les autres cellules sanguines. La production des cellules sanguines est contrôlée par trois facteurs de stimulation : la thrombopoïétine (TP), l'érythropoïétine (EP) et le facteur de libération des réserves (Colony Stimulating Factor, CSF) nécessaire pour la formation des clones. Le mastocyte est semblable au basophile mais il a une origine différente. La spécificité immunologique de l'individu est déterminée à un stade précoce de la vie par les cellules thymo-dépendantes (cellules T).

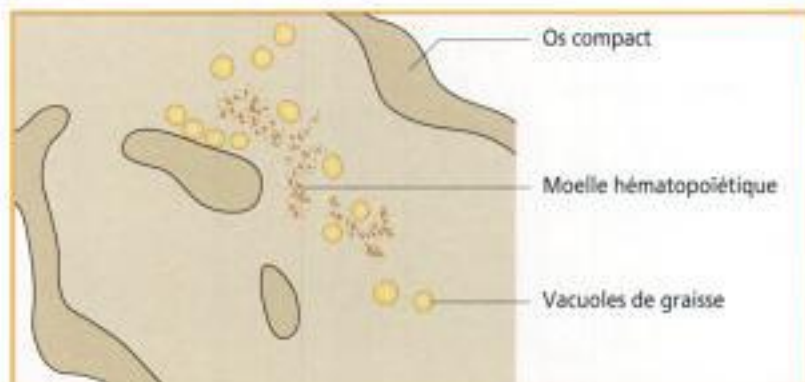


Figure 10.2. Aspect histologique de la moelle osseuse : il y a autant de tissu hématopoïétique que de graisse.

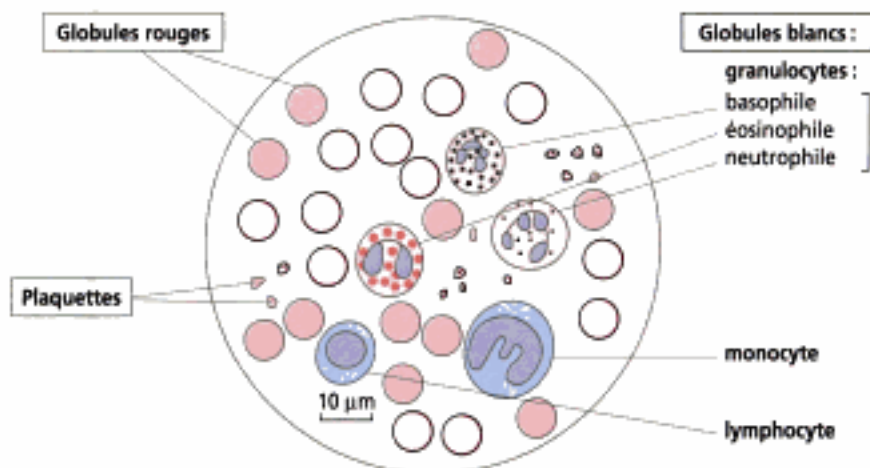


Figure 10.3. Cellules sanguines normales, sur un frottis de sang.

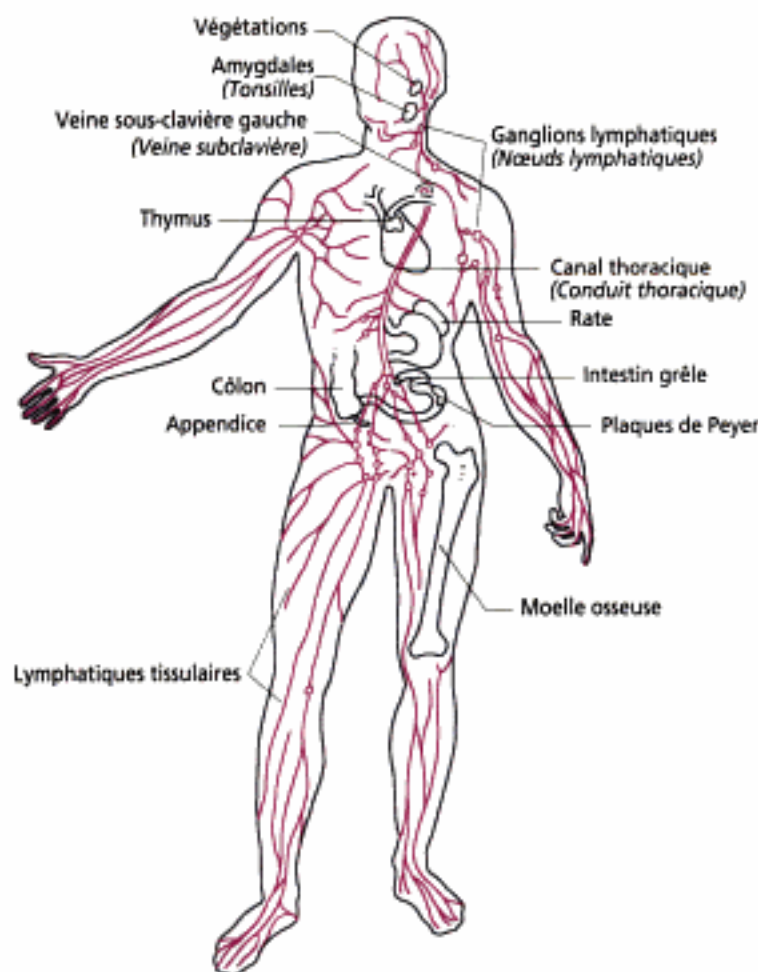


Figure 10.4. Le système lymphatique.

► Système lymphatique et lymphoïde

Le système lymphatique est constitué par les vaisseaux lymphatiques véhiculant la lymphe dans tout l'organisme, sauf le cerveau, en parallèle avec le système veineux (figure 10.4). L'ensemble de la lymphe de la partie inférieure du corps se collecte juste en dessous du diaphragme, dans la citerne de Pecquet, qui se prolonge par le canal thoracique se vidant après une « crosse » dans le confluent veineux jugulo-sous-clavier gauche. Les autres vaisseaux lymphatiques déversent leur lymphe qui se mêle au sang dans ce même confluent, à droite ou à gauche.

Les organes lymphoïdes se partagent en :

- organes centraux : le thymus à l'origine des lymphocytes T et la moelle osseuse qui, à côté de la production des cellules myéloïdes, est aussi à l'origine des lymphocytes B ;
- organes périphériques : les ganglions lymphatiques, la rate, l'anneau de Waldeyer (amygdales, base de langue, végétations du cavum), les plaques de Peyer le long de l'intestin.

Les ganglions lymphatiques sont de petits organes réniformes répartis le long des vaisseaux lymphatiques sur lesquels ils fonctionnent comme filtres, et spécialement présents au niveau du cou, dans les aisselles, dans le médiastin, dans l'abdomen en arrière du mésentère et dans les aines. Ils reçoivent par leur sinus périphérique une lymphe afférente qui les traverse avant de ressortir par un lymphatique efférent (figure 10.5). Leur structure est caractérisée par des follicules homogènes en l'absence de stimulation immunitaire (follicule

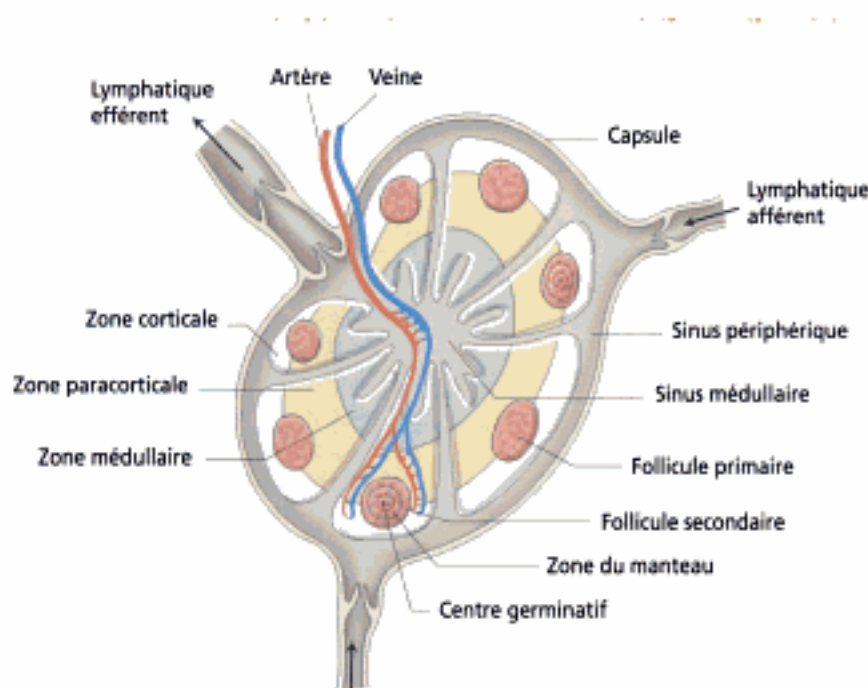


Figure 10.5. Coupe d'un ganglion lymphatique.

primaire) ou différenciés en follicules secondaires entourés de la zone du manteau en cas de réactions immunitaires. Ces follicules sont répartis dans la pulpe ganglionnaire où l'on reconnaît une zone périphérique (corticale), une zone intermédiaire (paracorticale) et une zone centrale (médullaire).

Les cellules lymphoïdes ou lymphocytes sont condensées dans les organes lymphoïdes mais sont présentes dans tous les tissus de l'organisme, excepté le cerveau. On les retrouve parmi les globules blancs du sang (tableau 10.1).

► Système réticulo-histiocytaire

Il est également constitué de cellules réparties dans tous les tissus. Celles-ci ont des caractères de macrophages et prennent le nom d'histiocytes dans les tissus, de monocytes dans le sang (figure 10.3). Selon les tissus, elles se présentent comme des cellules dendritiques dans les ganglions, des cellules de Langerhans dans la peau, des cellules de Kupffer dans le foie, des macrophages alvéolaires dans les poumons, des cellules microgliales dans le cerveau, etc.

Tableau 10.1. Hémogramme chez l'adulte.

		Numération globulaire	
		Système international	Système traditionnel
● Hématies	Homme	$4,5-5,9 \times 10^{12}/L$	$4\,500\,000-5\,900\,000/mm^3$
	Femme	$4-5,4 \times 10^{12}/L$	$4\,000\,000-5\,400\,000/mm^3$
● Hématocrite	Homme	0,40-0,54	40-54 %
	Femme	0,37-0,45	37-45 %
● Hémoglobine	Homme	8,1-11,2 mmol/L	14-18 g/100 mL
	Femme	7,4-9,9 mmol/L	12-16 g/100 mL
● Volume globulaire moyen		80-100 fL	80-100 μm^3
● Leucocytes		$4-9 \times 10^9/L$	$4\,000-9\,000/mm^3$
● Plaquettes		$150-400 \times 10^9/L$	$150\,000-400\,000/mm^3$
		Formule leucocytaire (%)	Valeurs absolues ($10^9/L$)
● Granulocytes			
– neutrophiles		50-85	2,5-7,5
– éosinophiles		1-4	0,09-0,5
– basophiles		0-1	0,01-0,1
● Lymphocytes		20-40	1,5-4
● Monocytes		2-10	0,4-1



PHYSIOLOGIE

► Naissance, vie et mort des cellules sanguines

Les cellules sanguines sont, parmi toutes les cellules de l'organisme, celles dont la vie est la mieux connue : leur dissociation facile a permis de nombreuses études (figure 10.1).

Hématopoïèse

La fabrication des globules du sang permet de distinguer des lignées sanguines et les facteurs conditionnant leur différenciation et leur croissance (figure 10.6).

Toutes les cellules ont leur origine dans une cellule pluripotente qui donne des cellules souches pour les lignées myéloïde et lymphoïde.

La lignée myéloïde va ensuite se subdiviser pour donner, par différenciation et maturation, les globules rouges, les plaquettes, les granulocytes ainsi que les monocytes. La lignée lymphoïde se subdivi-

visera pour donner les lymphocytes B et les lymphocytes T.

L'orientation et la maturation de ces cellules sont influencées par des cytokines, produites principalement par ces cellules elles-mêmes :

- des interleukines désignées par un numéro (IL1, IL2, etc.);

- des facteurs de croissance désignés par un sigle anglais (CSF pour **C**olony **S**timulating **F**actor) précédé d'une lettre désignant les cellules stimulées (G pour les granulocytes, M pour les monocytes).

La maturation des hématies se caractérise par la perte de leur noyau, mais surtout par leur charge en hémoglobine qui dépend surtout du fer qui en est l'élément prépondérant.

Le **métabolisme du fer** est pratiquement fermé, avec peu d'apports alimentaires et peu de pertes, sauf chez la femme en période d'activité génitale du fait des règles (figure 10.7). Cela explique que toute hémorragie entraînera volontiers une anémie ferriprive (hypochrome, microcytaire) et, à

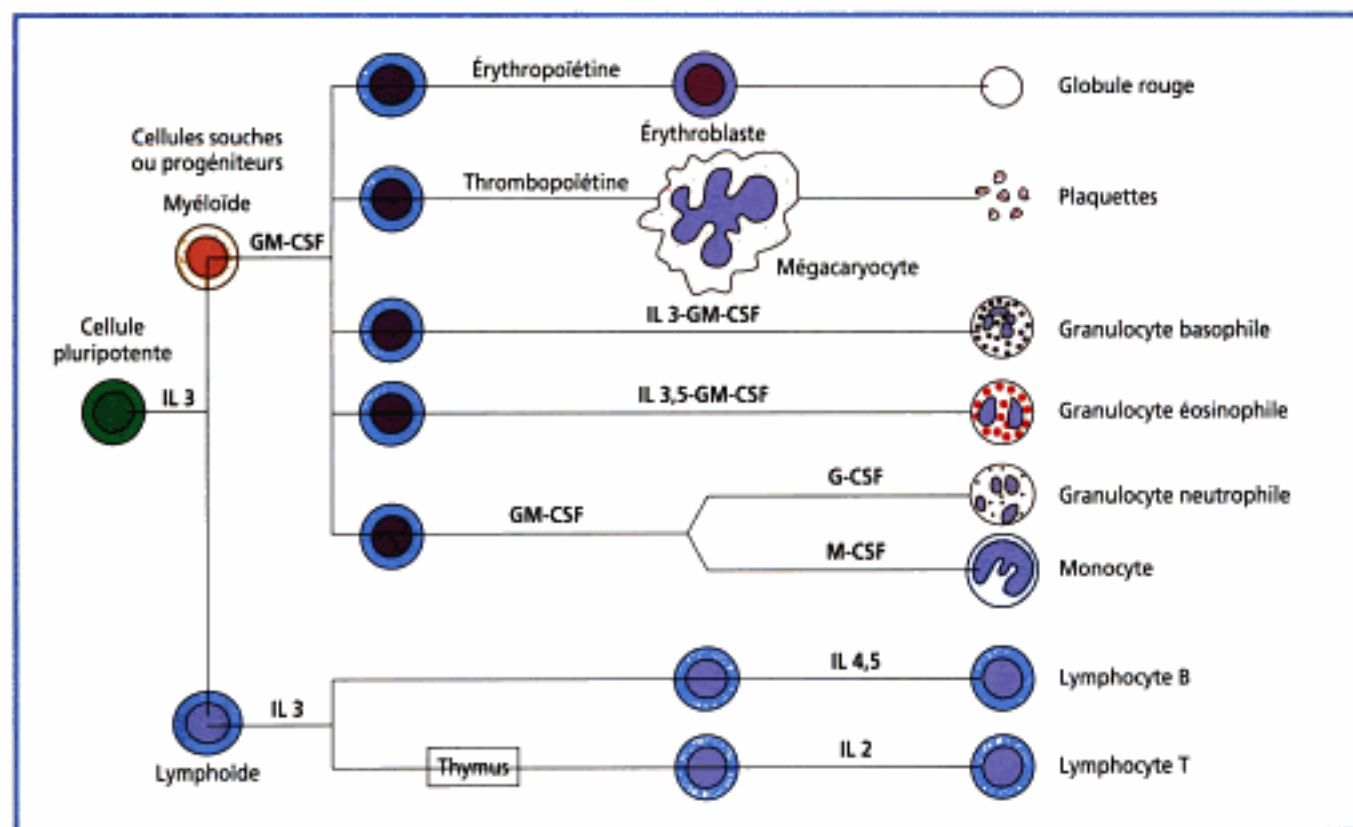


Figure 10.6. Les principales lignées cellulaires de l'hématopoïèse.
G = granulocyte ; IL = interleukine ; CSF = Colony Stimulating Factor.

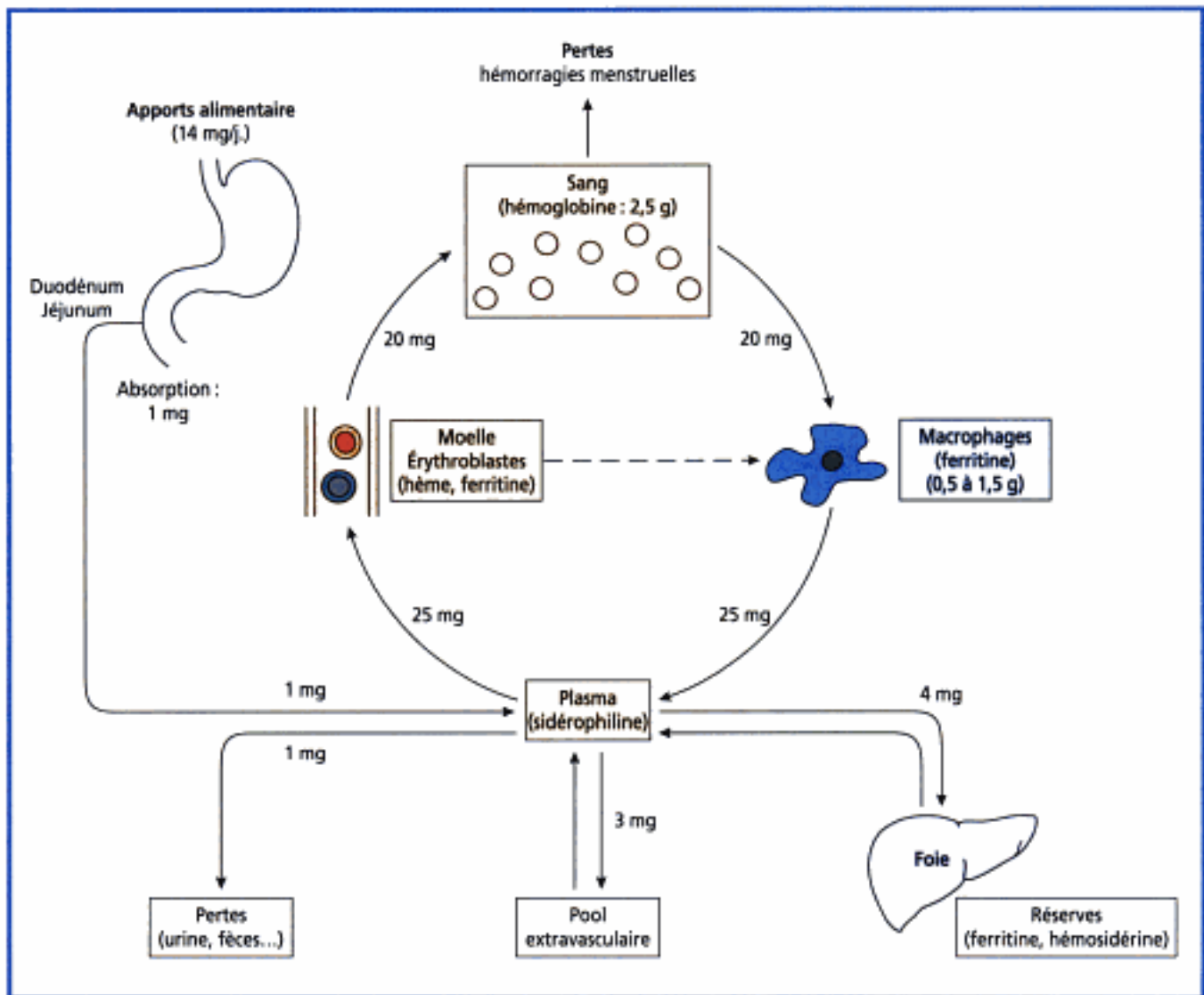


Figure 10.7. Le métabolisme du fer.

l'inverse, que tout apport de fer accru, comme lors de transfusions répétées et nombreuses, entraînera une surcharge de fer ou hémochromatose.

La fabrication des hématies est aussi dépendante des **facteurs vitaminiques**, en particulier de la vitamine B_{12} (figure 10.8). Son absorption dépend d'un facteur intrinsèque gastrique qui peut être déficient après gastrectomie ou dans la maladie de Biermer, ce qui entraîne une anémie mégalo-blastique qui se corrige par l'administration parentérale de vitamine B_{12} . La synthèse de l'hémoglobine dépend aussi de la bonne fabrication des chaînes protéiques qui entourent l'atome de fer, deux chaînes alpha et deux chaînes bêta.

Ces chaînes peuvent être malformées à la suite d'un défaut génétique donnant une hémoglobino-pathie et, en général, une anémie hémolytique congénitale.

Vie des cellules sanguines

La demi-vie des hématies est de l'ordre de 60 jours, celles des granulocytes et des plaquettes de quelques jours. Cela explique qu'après sidération de leur production, par exemple par une chimiothérapie anticancéreuse, le taux de globules rouges diminue de façon lente et imperceptible tandis que celui des globules blancs et des plaquettes diminue nettement en quelques jours.

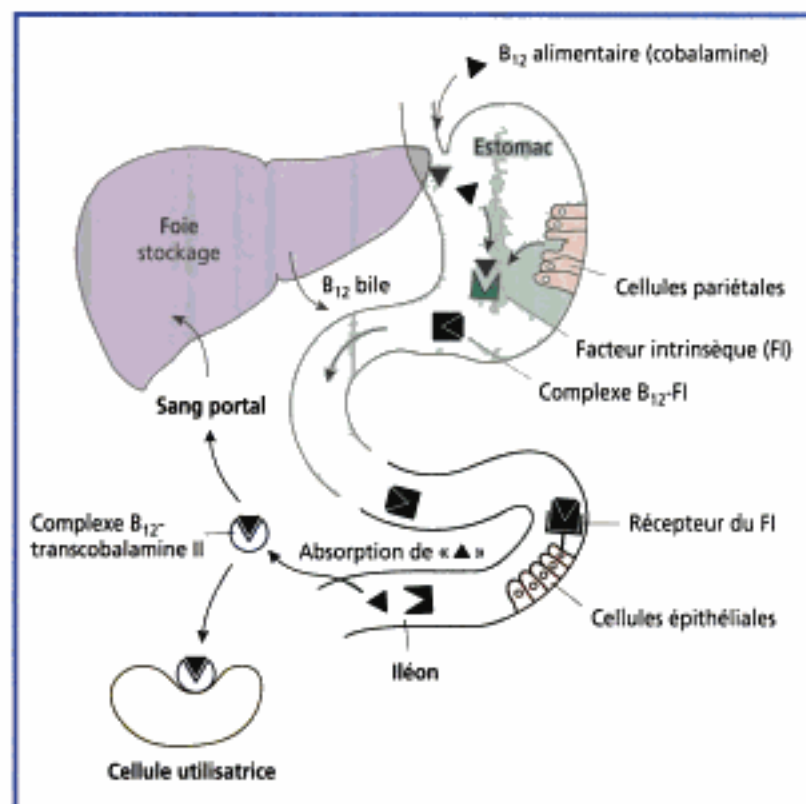


Figure 10.8. Le circuit de la vitamine B_{12} d'origine alimentaire.

Les globules rouges ont pour principale fonction de porter l'hémoglobine et par elle de transporter l'oxygène récolté dans les poumons aux différents tissus de l'organisme pour lesquels il a une fonction vitale.

Les plaquettes jouent un rôle dans l'hémostase (cf. infra).

Les granulocytes interviennent dans les défenses de l'organisme (cf. infra).

Mort des cellules

Les cellules souches et les cellules mémoires ont une très longue vie, mais les cellules sanguines disparaissent plus rapidement par vieillissement et apoptose. Les hématies, les plus abondantes, sont principalement détruites par la rate, ce qui entraîne une splénomégalie dans certaines anémies hémolytiques. Une splénomégalie d'autre origine peut aussi s'accompagner d'une destruction excessive de tous les globules sanguins (hypersplénisme).

Les globules peuvent être aussi détruits ou perdus à la suite d'un événement pathologique : hémor-

ragie entraînant surtout une perte de globules rouges et de fer, infection détruisant les granulocytes, réaction auto-immune détruisant une catégorie de globules.

► Défenses de l'organisme

Elles représentent un ensemble de mécanismes apparus au cours de l'évolution qui, chez l'homme, présentent une grande complexité et beaucoup d'intrications. On peut schématiquement distinguer :

- la phagocytose ;
- les défenses humorales par l'intermédiaire de substances circulantes, au premier rang desquelles les anticorps ou immunoglobulines ;
- les défenses cellulaires.

Le système vasculaire lymphatique y joue un rôle important, la lymphe véhiculant et transportant des corps étrangers d'origine exogène (microbes) ou endogène (cellules cancéreuses). Elle est filtrée par les ganglions lymphatiques qui peuvent suffire à retenir et détruire l'agresseur ou se laissent déborder par l'envahissement qui continue plus loin par la lymphe ou le sang (figure 10.9). Dans certains cas, après un évidement ganglionnaire chirurgical ou l'irradiation d'une aire ganglionnaire, la circulation lymphatique est entravée : il se développe un lymphœdème (« gros bras ») et une infection minime dans le territoire correspondant pour prendre de grandes proportions, faute d'un transport lymphatique normal.

Phagocytose

Elle fait intervenir deux types de cellules :

- Les **granulocytes** pour les corps étrangers de petite taille qui sont capturés, ingérés et détruits dans le globule grâce aux enzymes contenues dans les granules. En cas de conflit important, les leucocytes affluant sur la porte d'entrée de l'infection peuvent être détruits et être à l'origine du pus (abcès) qui peut également se constituer dans un ganglion lymphatique (adénophlegmon).
- Les **macrophages**, dérivés des monocytes sanguins ou des histiocytes, interviennent pour des agresseurs plus volumineux ; après les avoir absorbés, ils peuvent les détruire ou les transformer pour les présenter à d'autres cellules, les lymphocytes, qui développeront contre eux des moyens de défense plus élaborés.



Immunité humorale

Elle est principalement représentée par les anticorps ou **immunoglobulines**, sécrétées par des lymphocytes B transformés en plasmocytes. La structure des immunoglobulines (figure 10.10) leur permet de s'adapter aux différentes sortes d'antigènes.

Les **cytokines** sont des substances plus récemment individualisées, produites principalement par les globules blancs; elles jouent un rôle dans la production des cellules, dans leur régulation et dans leur coordination (comme les facteurs de croissance vus plus haut), mais aussi un rôle direct contre des agents étrangers :

- l'interféron gamma est produit par des cellules T activées et agit contre les virus, mais aussi sur d'autres cellules de la réaction immunitaire, activant par exemple indirectement les macrophages;
- le facteur nécrosant les tumeurs (ou TNF ou cachectine), dont il existe deux sortes, est directement cytotoxique, mais favorise aussi la migration des lymphocytes et mobilise les graisses;
- le facteur inhibant la migration des macrophages (MIF) favorise leur accumulation sur le site de l'infection ou de l'inflammation;
- les interleukines – dont il existe plus d'une douzaine de sortes individualisées avec des modes d'action très variés – stimulent pour la plupart la croissance ou l'activité des cellules lymphoïdes, la fabrication ou l'activation des macrophages; la figure 10.11 montre par exemple quelques activités de l'IL1 produite par un monocyte.

Immunité cellulaire

À côté de leur intervention par l'intermédiaire des substances décrites ci-dessus, les cellules de l'immunité peuvent intervenir directement pour absorber, modifier, lyser des corps et surtout des cellules étrangères à l'organisme. Ainsi apparaissent des lymphocytes T activés ou des cellules NK (**natural killers**, tueurs naturels) qui exercent une activité cytotoxique directe.

Régulation

Ces mécanismes complexes sont soumis à une régulation également complexe qui permet de coordonner les différentes interventions.

Mais d'abord, il existe des mécanismes de reconnaissance qui évitent que ces moyens de destruction d'un agresseur étranger ne se retournent

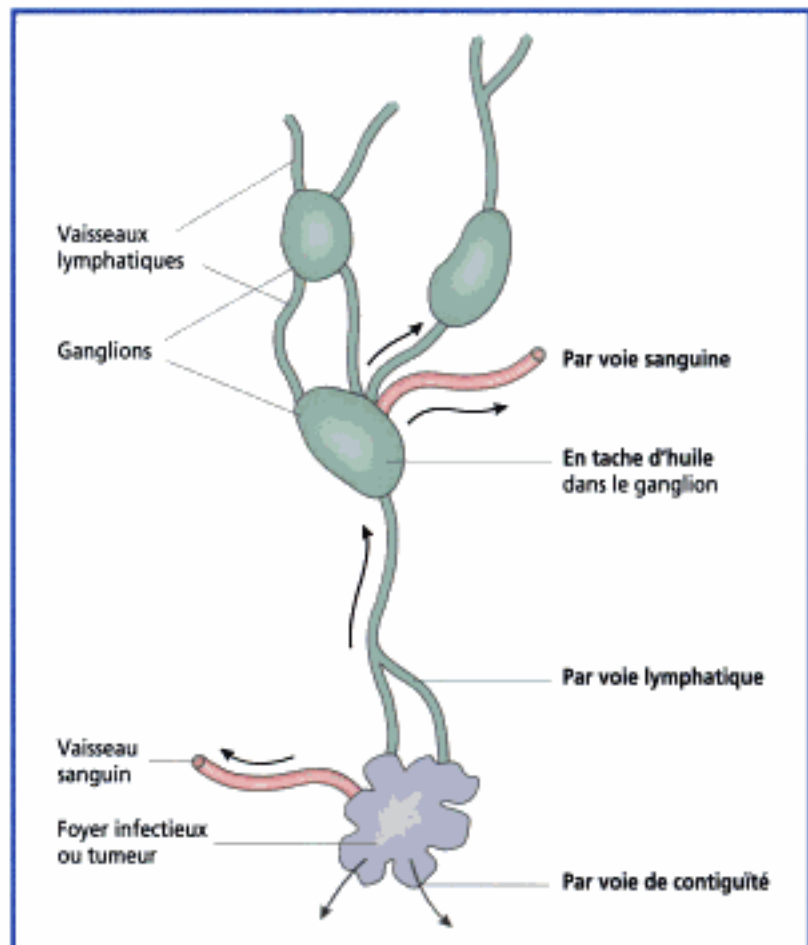


Figure 10.9. La progression anatomique d'un foyer infectieux ou cancéreux.

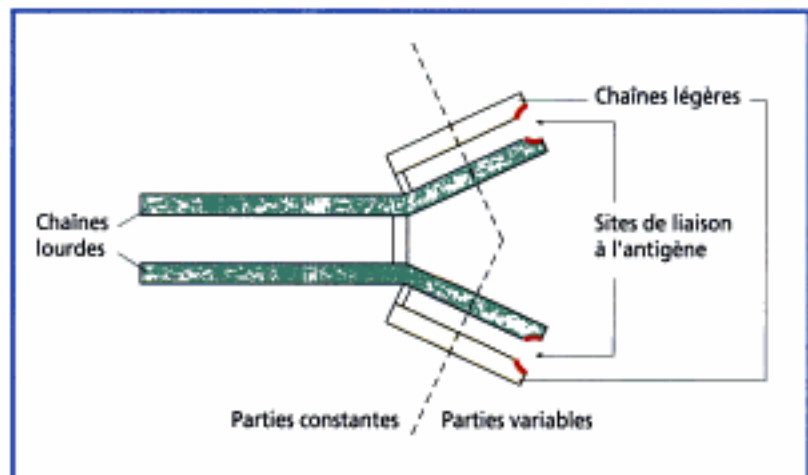


Figure 10.10. Structure simplifiée d'une molécule d'immunoglobuline.

Hidden page



d'anticorps naturels. Un sujet qui ne possède pas l'antigène Rh classique (antigène D) est appelé Rh négatif (15 % de la population); il ne fabrique pas naturellement d'anticorps anti-Rh. Si des GR Rh positifs (possédant l'antigène D) sont introduits, il fabriquera un anticorps anti-D, dit immun, comme par exemple lors d'une grossesse (mère Rh négatif et enfant Rh positif à cause du père).

Au laboratoire, les GR du sujet sont mélangés sur une plaque avec un antisérum anti-D connu; si l'antigène D est présent sur les GR, une agglutination se produit : le sujet est Rh positif (85 % de la population); s'il n'y a pas d'agglutination, le sujet est Rh négatif (15 % de la population).

Cet antigène D est complexe et a des sous-unités (E, e, C ou c) que l'on peut déterminer avec des antisérums de la même manière.

Ces deux systèmes, ABO et Rh, sont essentiels dans la pratique transfusionnelle et déterminés simultanément pour le groupe sanguin habituel.

D'autres systèmes (Kell, Kidd, Duffy...) ne sont en général déterminés que si un patient doit recevoir des transfusions répétées.

► Hémostase

À l'état normal, le sang circule librement dans les vaisseaux bordés par les cellules endothéliales. Ces dernières forment une barrière entre les plaquettes circulant le long de la paroi, les facteurs plasmatiques de la coagulation et le tissu conjonctif sous-endothélial (figure 10.14). De plus, elles sécrètent de nombreuses substances qui inhibent l'agrégation plaquettaire, l'activation de la coagulation (action analogue à celle de l'héparine ou du système de la protéine C), ou qui activent la fibrinolyse. Ces mécanismes permettent au sang de circuler librement dans les vaisseaux, au contact de l'endothélium vasculaire, sans qu'il y ait formation de caillot.

Lors de la rupture d'un vaisseau, un saignement survient. Son arrêt sera assuré par les mécanismes de l'hémostase qui vont aboutir à la formation d'un caillot puis à son élimination et à la cicatrisation du tissu lésé. Tous ces mécanismes sont intriqués entre eux, mettant en jeu des activateurs et des inhibiteurs qui vont limiter les réactions au site de la plaie.

On distingue schématiquement trois temps principaux interdépendants.

	Épreuves globulaires GR du sujet +			Épreuves sériques sérum ou plasma du sujet +		
	sérum ANTI-A	sérum ANTI-B	sérum ANTI-AB	GR A	GR B	GR 0
A						
B						
AB						
0						
= GR agglutinés = GR non agglutinés						

Figure 10.13. La détermination du groupe ABO par les épreuves sériques et globulaires.

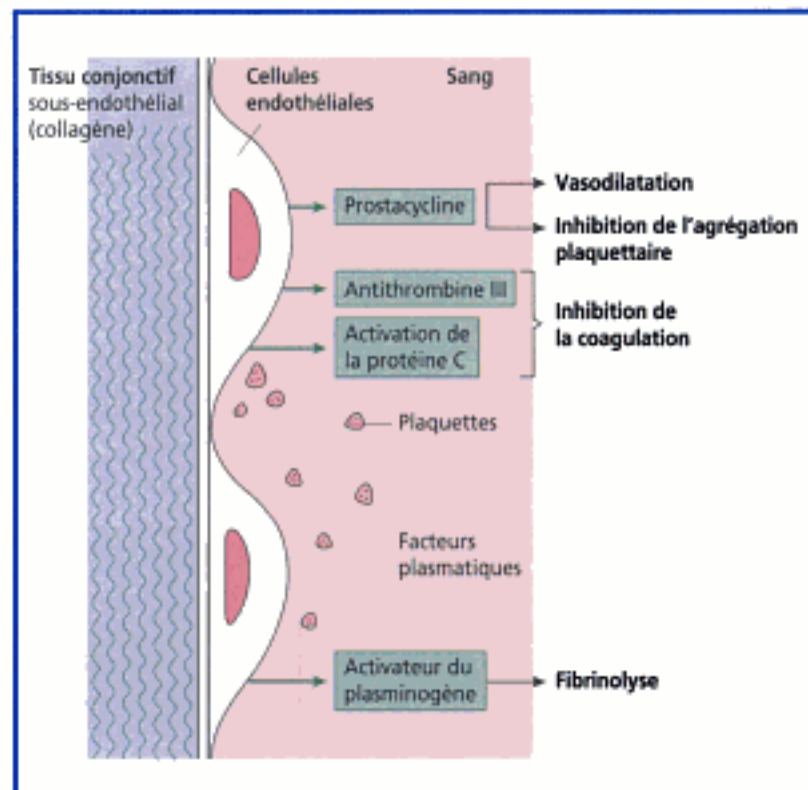


Figure 10.14. Circulation normale du sang dans le vaisseau. Les cellules endothéliales sécrètent des inhibiteurs de la coagulation.



Hémostase primaire

Encore appelée temps pariéto-plaquettaire, elle aboutit à la formation en 3 à 5 minutes du clou plaquettaire hémostatique fragile. On observe successivement :

- une **vasoconstriction** immédiate du vaisseau ;
- une **adhésion** des plaquettes au sous-endothélium lésé, par l'intermédiaire du facteur Willebrand sécrété par les plaquettes et les cellules endothéliales ; ce facteur établit un pont entre la paroi vasculaire, les plaquettes et certains facteurs plasmatiques de la coagulation ;
- une **activation** plaquettaire qui lie les plaquettes entre elles (agrégation) ; les plaquettes changent de forme et sécrètent à leur surface des substances procoagulantes.

Le clou plaquettaire ainsi formé (figure 10.15) va être consolidé par la coagulation qui a déjà commencé par fixation locale de plusieurs facteurs (V, VIII, fibrinogène).

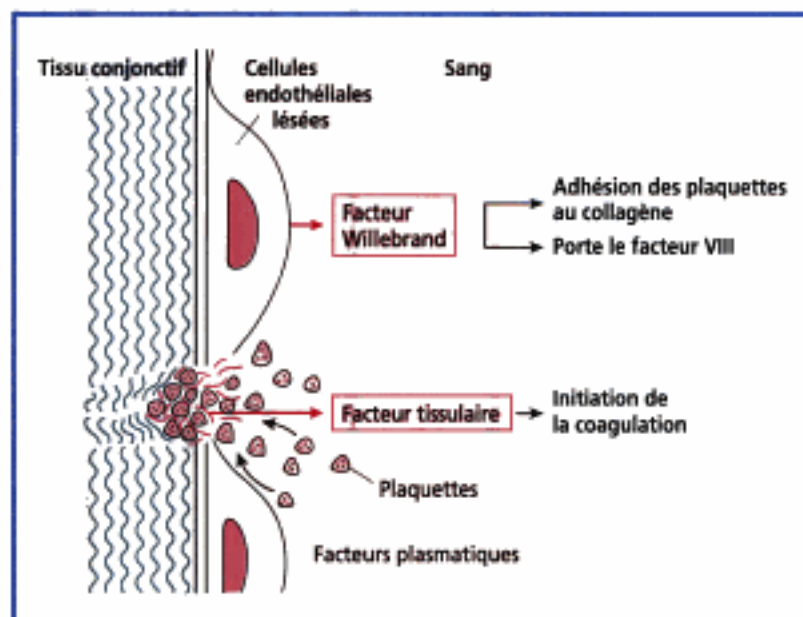


Figure 10.15. Blessure vasculaire déclenchant le début de l'hémostase.

L'hémostase primaire est explorée globalement par le temps de saignement (méthode d'Ivy) et la numération plaquettaire (avec les automates de comptage globulaire).

Coagulation sanguine

Elle transforme le clou plaquettaire fragile en un caillot de fibrine stable en 10 minutes environ.

Elle utilise des protéines plasmatiques appelées facteurs de coagulation désignés par des chiffres romains. Ces facteurs ne deviennent actifs qu'après clivage enzymatique et sont désignés par une lettre « a » à côté du chiffre romain. Il est classique de séparer *in vitro* deux voies entre lesquelles existent d'ailleurs des « passages ». Il n'est pas sûr qu'*in vivo*, ce modèle s'applique de façon identique.

Voie exogène (extrinsèque)

Elle est déclenchée par le facteur tissulaire (FT) qui est une glycoprotéine du sous-endothélium. Il fixe le facteur VII en présence de calcium, et le complexe formé va exercer son activité catalytique vis-à-vis du facteur X ; la cascade enzymatique poursuit son action ainsi de suite (figure 10.16) pour aboutir à la formation de fibrine.

Cette voie est explorée au laboratoire par le temps de Quick qui mesure la vitesse de coagulation d'un plasma en présence de thromboplastine (FT + phospholipides) et de calcium.

Voie endogène (intrinsèque)

Elle est initiée par le biais de ce que l'on appelle la « phase contact » qui est *in vivo* le sous-endothélium ou les plaquettes agrégées et, *in vitro* le verre, le kaolin... *In vivo*, cette voie a sans doute peu d'importance. Elle est détaillée par la figure 10.16 et correspond, comme la voie exogène, à une cascade enzymatique aboutissant à la formation de fibrine.

Elle est explorée par le temps de céphaline avec activateur (TCA) qui mesure la vitesse de coagulation du plasma en présence d'un activateur de la phase contact (kaolin...), de céphaline (équivalent des phospholipides plaquettaires) et de calcium.

Fibrine

La fibrine formée par les deux voies est d'abord soluble et devient ensuite insoluble par l'action du facteur XIII qui crée des ponts entre les différents monomères de fibrine. Le caillot de fibrine est devenu solide.

Inhibiteurs de la coagulation

Ce sont des protéines plasmatiques qui empêchent l'extension du processus de coagulation à distance de la plaie en contrôlant étroitement les réactions enzymatiques de la coagulation. Ils sont nombreux. Les plus importants sont :

- l'antithrombine III qui neutralise l'activité enzymatique de la thrombine et de nombreux



autres facteurs de la coagulation dont le Xa et le IIa de façon rapide ;

- les systèmes protéine C-protéine S qui dégradent les cofacteurs Va et VIIIa, ralentissant la coagulation ;
- l'inhibiteur de la voie exogène.

Fibrinolyse

Elle détruit le caillot (en 7 à 10 jours), entraînant une reperméabilisation vasculaire. La régulation de ce système est aussi complexe que la cascade enzymatique de la coagulation, mettant en jeu un système d'activateurs et d'inhibiteurs.

On distingue deux étapes :

Transformation du plasminogène

Protéine plasmatique inactive synthétisée par le foie, il est transformé en plasmine active sous l'influence d'activateurs :

- l'activateur tissulaire du plasminogène ou TPA synthétisé par les cellules endothéliales ;
- l'urokinase (UK) produite par les cellules rénales et retrouvée dans les urines ; dans le plasma, elle est sous forme inactive (pro-UK) ; elle est sécrétée par de nombreuses cellules (fibroblastes, macrophages, monocytes...) ;
- le facteur XII active la pro-UK en UK.

Dégradation de la fibrine

C'est la fibrinolyse proprement dite. La plasmine coupe la fibrine et le fibrinogène aboutissant à des produits de dégradation (que l'on peut doser au laboratoire). La plasmine est dangereuse pour l'organisme ; elle est donc activée seulement à la surface de la fibrine. Dans le plasma, elle est immédiatement inhibée.

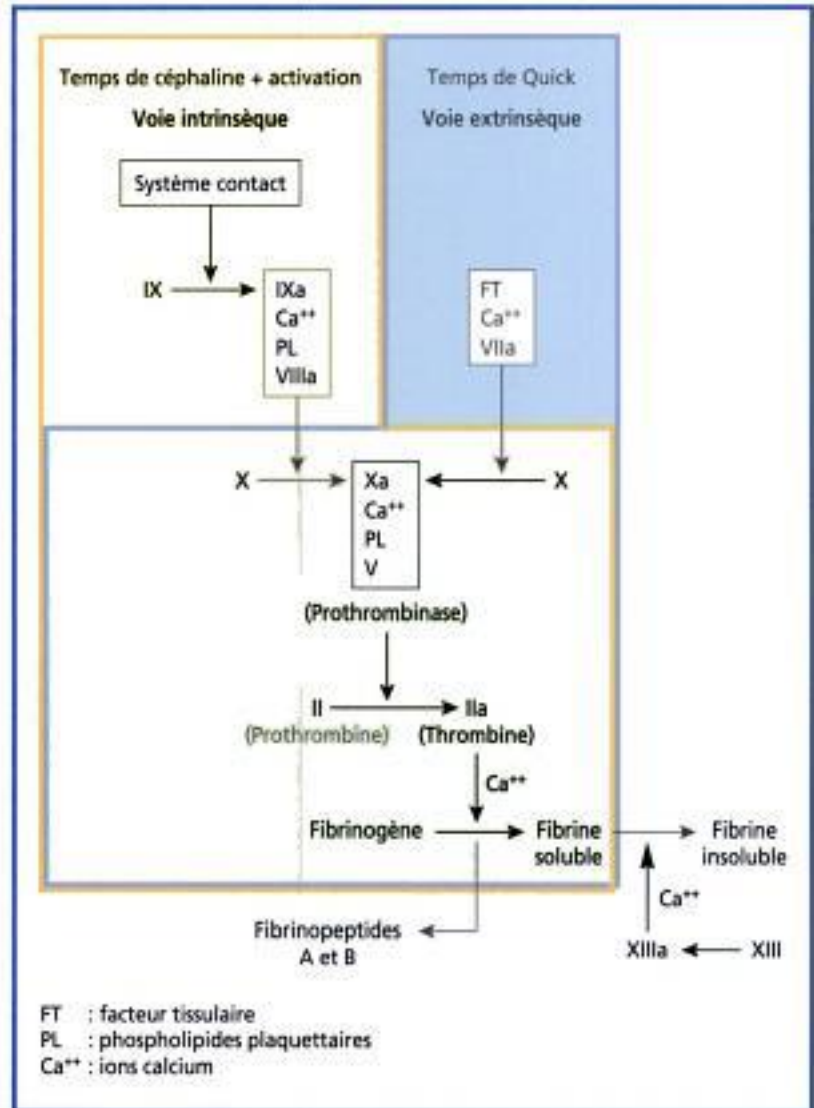


Figure 10.16. Exploration de la coagulation sanguine. Le temps de Quick (TP) explore la voie extrinsèque et la voie commune ; le temps de céphaline avec activateur (TCA) explore la voie intrinsèque et la voie commune (en vert).

Pour comprendre

Le sang et la lymphe circulent dans les vaisseaux sanguins (artères et veines) et lymphatiques. Ils transportent des cellules produites dans les tissus myéloïde (la moelle osseuse), lymphoïde (ganglions principalement) et réticulo-histiocytaire (ubiquitaire). Cette production dépend de nombreux facteurs comme le fer et la vitamine B₁₂ pour les globules rouges et des cytokines.

Les globules rouges assurent le transport de l'oxygène aux tissus, les globules blancs contribuent aux défenses immunitaires humorales ou cellulaires, les plaquettes participent à l'hémostase en association avec de nombreux facteurs plasmatiques.

Les groupes sanguins conditionnent la compatibilité des transfusions.

Tous ces mécanismes physiologiques peuvent être perturbés en entraînant des maladies très diverses.

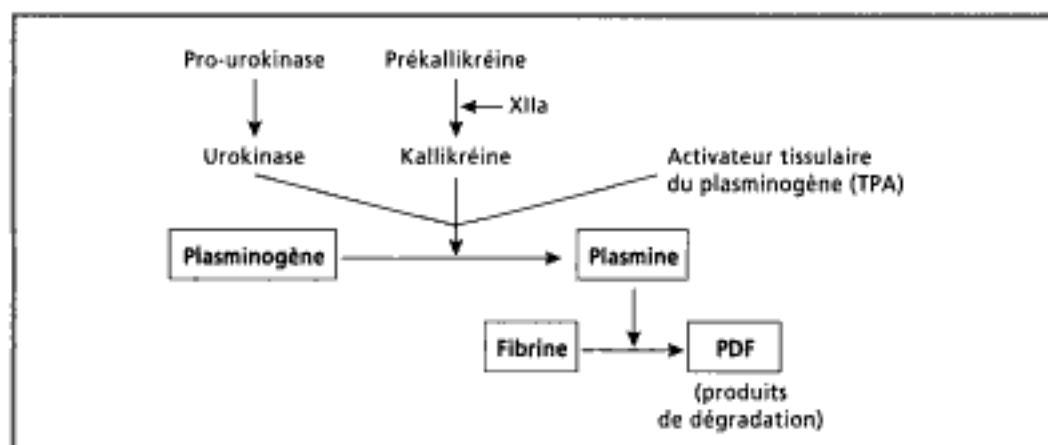


Figure 10.17. Schéma simplifié de la fibrinolyse.

Les différents inhibiteurs de la fibrinolyse sont représentés sur la figure 10.17.

Prélèvement de sang

L'exploration de la coagulation et de la fibrinolyse n'a de valeur que si le prélèvement de sang est correctement effectué. Il faut éviter toute conta-

mination par le facteur tissulaire et toute hémolyse en rejetant le sang d'une ponction difficile; les premières gouttes seront rejetées et la proportion d'anticoagulant (citrate) respectée. Enfin, les tubes doivent parvenir au laboratoire dans l'heure qui suit le prélèvement (sauf si l'on utilise des tubes spéciaux).

Hidden page

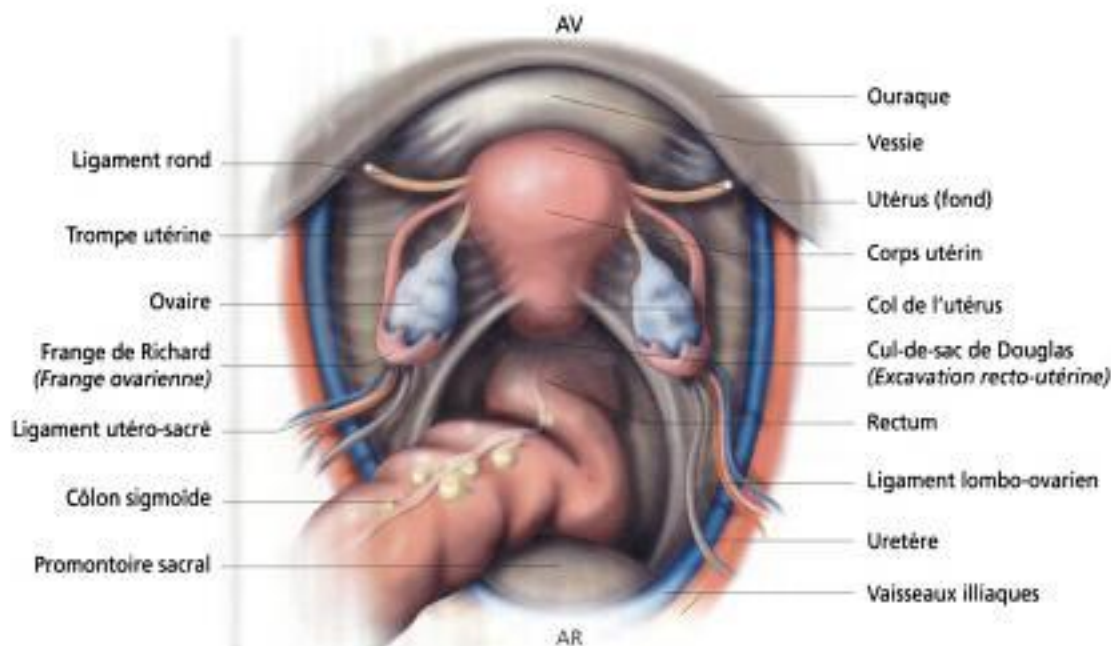


Figure 11.2. Vue d'ensemble des viscères intrapélviens.

avant et le rectum en arrière. C'est une cavité virtuelle, aplatie, dont la direction générale est oblique en bas et en avant. Sa longueur moyenne est 10 cm pour la paroi postérieure. Son calibre est très variable en raison de sa très grande compliance. À son extrémité supérieure, la paroi vaginale forme autour du col les quatre culs-de-sac vaginaux. Le cul-de-sac antérieur et les deux latéraux sont peu profonds; quant au cul-de-sac vaginal postérieur, le plus profond, il remonte en arrière du col. En bas, le vagin est obturé partiellement par l'hymen, c'est l'**introït vaginal**. Chez la vierge, le vagin est séparé de la vulve par l'**hymen**. C'est un septum membraneux transversal incomplet qui lors du premier coït se déchire et constitue les **caroncules hyménales**. La surface interne du vagin présente des plis transversaux ou rides vaginales. Ces rides vaginales s'émoussent à la ménopause. Le vagin met en communication la cavité abdominale avec l'extérieur en traversant les plans aponévrotiques et musculaires du périnée. Latéralement, il reçoit les attaches des muscles releveurs de l'anus qui lors de leur contraction permettent la fermeture de la partie inférieure du vagin.

Utérus

L'utérus est un organe musculaire creux, destiné à recevoir l'œuf fécondé pendant son développe-

ment et à l'expulser à terme. Sa muqueuse interne, l'**endomètre** desquame tous les mois au moment des règles (menstruation). C'est un organe ferme et élastique à l'examen, qui a la forme d'une poire renversée.

Configuration externe

L'utérus est divisé en trois parties.

- Le corps utérin.** Il est intrapelvien de forme conoïde, aplatie d'avant en arrière. Le fond de l'utérus est convexe et se prolonge latéralement au niveau des angles supérieurs par les **cornes utérines** qui se continuent avec les trompes. Les dimensions de l'utérus sont variables en fonction de la parité et de l'âge de la patiente. L'utérus mesure environ 6 à 8 cm de long, dont 2 à 3 cm pour le col, la largeur au niveau du tronc utérin entre chaque corne utérine est de 4 à 5 cm, et l'épaisseur varie de 2 à 4 cm. Le corps de l'utérus fait saillie dans la cavité pelvienne; sa position est variable. En général, le corps utérin qui est soutenu par le vagin repose sur la vessie et il est incliné en avant formant avec le col un angle de flexion obtus, ouvert en avant de 100° (**antéposition**). Mais l'utérus peut aussi s'infléchir ou basculer en arrière en fonction du tonus des parois musculaires antérieures et postérieures. Cette **rétoposition** réductible est physiologique.

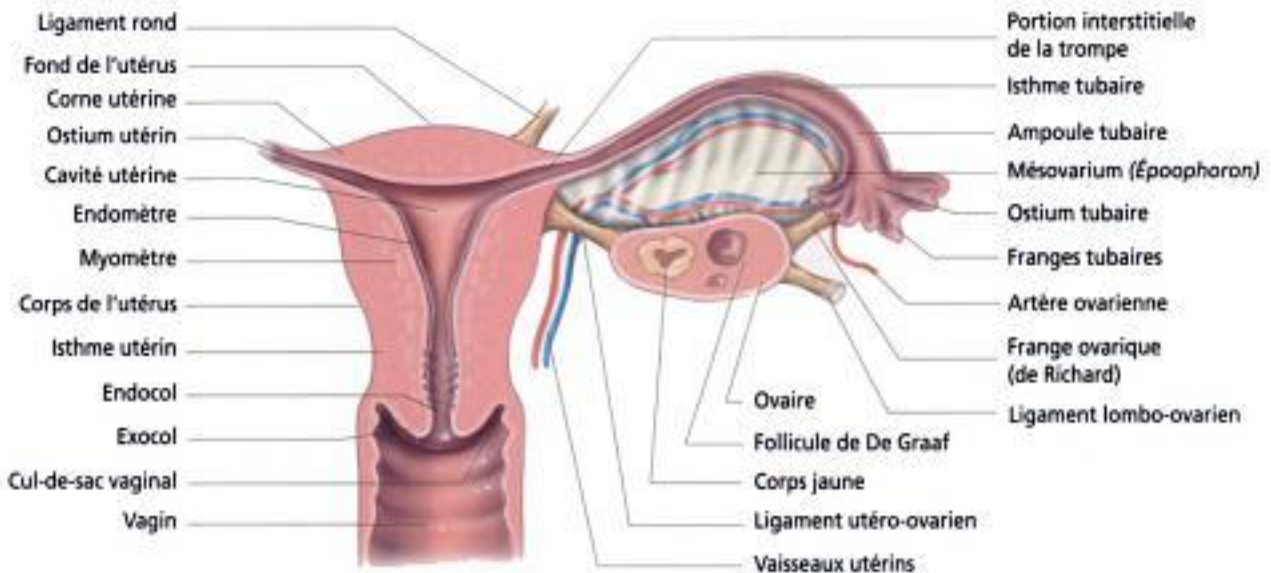


Figure 11.3. Coupes de l'utérus, de ses annexes et de l'ovaire gauche.

- **Le col.** Il est cylindrique en forme de barillet. On distingue une portion supravaginale prolongeant le corps de l'utérus et une portion vaginale qui est visible au spéculum et accessible au doigt par le toucher vaginal. La portion vaginale du col constitue l'exocol qui est percé à son sommet d'un orifice. Cet **orifice externe** du col donne accès au **canal cervical** ou **endocol**. L'aspect de l'orifice externe est variable. Chez la nullipare, l'orifice est punctiforme. Chez la primipare, l'orifice s'allonge transversalement et divise alors l'exocol en deux lèvres : antérieure et postérieure.

- **L'isthme.** Dans sa partie moyenne, l'utérus présente un léger étranglement, c'est l'isthme utérin qui sépare le col et le corps.

Configuration interne

L'utérus est un organe creux comportant deux parties : la cavité utérine au niveau du corps et le canal cervical. La **cavité utérine** est virtuelle, aplatie d'avant en arrière, triangulaire à base supérieure. Les angles latéraux supérieurs communiquent avec les canaux tubaires par l'intermédiaire d'un orifice de 1 à 2 mm de diamètre : l'**ostium utérin**. Le **canal cervical** ou **endocol** est réel et fait communiquer la cavité vaginale par l'orifice externe à la cavité utérine au niveau de l'isthme utérin. La cavité utérine est recouverte par une muqueuse qui s'appelle l'endomètre. Cette muqueuse ou épithélium glandulaire recouvre

aussi l'endocol jusqu'au niveau de l'exocol qui est tapissé par un épithélium différent de type pavimenteux. La frontière où se rencontrent les deux épithéliums au niveau de l'exocol s'appelle la **ligne de jonction**.

Rapports

Le corps utérin et la portion supravaginale du col présentent deux faces qui sont recouvertes du péritoine.

- **La face vésicale.** En avant, le corps utérin répond à la face utérine de la vessie par l'intermédiaire du **cul-de-sac vésico-utérin**.

- **La face intestinale.** En arrière, l'utérus est séparé du rectum par le **cul-de-sac rétro-utérin** de Douglas.

• Les bords

- Les bords du corps de l'utérus répondent au **mésomètre** dans lequel cheminent les artères utérines, les veines utérines, les lymphatiques utéro-vaginaux et le nerf latéral de l'utérus. **L'artère et les veines utérines** abordent l'utérus à la base du **ligament large** au niveau de l'isthme et remontent le long de chaque bord de l'utérus pour s'anastomoser près de la corne avec les vaisseaux ovariens.
- Les bords de la portion supravaginale du col répondent aux **paramètres** dont l'élément important est représenté par le croisement entre uretère et artère utérine.



– L'utérus est maintenu en position par son attache vaginale sur le col renforcée par les **ligaments utéro-sacrés**, les **ligaments ronds** étendus des cornes utérines à la paroi antérieure de l'abdomen et les lames péritonéales qui forment sous eux de chaque côté les **ligaments larges**.

Trompes

Les trompes sont deux conduits musculo-membraneux, symétriques qui s'étendent de chaque côté de l'utérus à partir de la corne utérine correspondante pour aller rejoindre les ovaires.

Configuration externe

Situé dans le **mésosalpinx**, le trajet de la trompe est dirigé en dehors surplombant l'ovaire; la trompe s'incurve ensuite en bas et en dedans pour étaler son pavillon sur le bord libre de l'ovaire. La trompe mesure environ 10 à 12 cm de long et présente quatre parties :

- **La portion utérine ou interstitielle**, située dans l'épaisseur même du muscle utérin, débouche dans la cavité utérine au niveau de la corne par l'ostium tubaire.
- **L'isthme ou portion funiculaire** est cylindrique, inextensible, long de 3 à 4 cm, d'un diamètre de 2 à 4 mm.
- **L'ampoule tubaire**, flexueuse, à paroi mince et molle, présente une grande compliance. Elle mesure 7 à 8 cm de long et 8 à 9 mm de diamètre; elle est en rapport étroit avec l'ovaire et représente la chambre de fécondation.
- **L'infundibulum ou pavillon de la trompe** s'évase en entonnoir et vient coiffer le pôle externe de l'ovaire en faisant communiquer la cavité tubaire avec celle du péritoine par un orifice extensible de 2 à 3 mm, l'**ostium abdominal**. Sa base ressemble à une corolle de fleurs d'œillets et apparaît festonnée en une série de franges dont l'une, un peu plus longue, est insérée aux ligaments tubo-ovariques, c'est la **frange ovarique**.

Configuration interne

La muqueuse tubaire est tapissée de cellules ciliées à bordures en brosse dont le rôle est très important dans la migration ovulaire. La fécondation se fait au niveau de l'ampoule tubaire.

Rapports

Dans l'ensemble, la trompe est en dessous du ligament rond et en arrière du ligament large. Elle est en contact direct avec les structures digestives.

Ovaires

Au nombre de deux comme les trompes, ces glandes génitales féminines ont une double fonction : **ovulatoire** d'une part et **endocrinienne** d'autre part. Formations oblongues à la forme d'une amande, d'environ 4 cm de long, leur aspect est blanchâtre à la coelioscopie, tranchant nettement avec la teinte rosée des formations anatomiques voisines. Leur surface est irrégulière et bosselée par de petites formations ovulaires en voie de développement, des formations postovulatoires cicatricielles blanchâtres (**corpus albicans**) ou des formations jaunâtres d'ovulation récente (**corpus jaune**). Les ovaires sont plaqués à la face postérieure du ligament large auquel ils sont amarrés par le **mésovarium**.

Ligaments

L'ovaire est mobile dans la cavité pelvienne et maintenu par trois ligaments :

- **Le ligament suspenseur de l'ovaire ou ligament lombo-ovarien** qui l'attache à la paroi latéro-postérieure de l'abdomen et qui entoure les **vaisseaux ovariens**. Ces vaisseaux ovariens naissent de la face antérieure de l'aorte; ses branches s'anastomosent avec les branches homologues de l'artère utérine pour former les arcades artérielles ovariennes et tubaires.
- **Le ligament propre de l'ovaire ou ligament utéro-ovarien** en dedans qui fixe l'ovaire à la corne utérine. C'est à son niveau que des branches de l'artère utérine s'anastomosent avec les branches homologues de l'artère ovarienne.
- **Le ligament tubo-ovarien** solidaire de la frange ovarique ou frange de Richard.

Rapports

L'ovaire n'est pas recouvert de péritoine. La face latérale repose sur la fossette ovarienne recouverte par le péritoine pelvien. Le bord mésovarique est limité par la ligne d'attache du mésovarium qui représente le hile de l'ovaire. Le pôle utérin est accessible au toucher vaginal ou rectal.

Vascularisation, lymphatiques et nerfs pelviens

- **La vascularisation artérielle pelvienne**. Elle dépend essentiellement de l'**artère iliaque interne** ou **obturatrice** qui vascularise la région pelvienne, périnéale et obturatrice. Elle naît de la bifurcation de l'artère iliaque primitive (branche terminale de l'aorte) et se sépare de l'artère iliaque



externe. Elle descend verticalement dans le petit bassin, le long de la paroi latérale et se divise en donnant les principales branches pelviennes artères ombilicale, utérine, vaginale et rectale.

L'ovaire est vascularisé par l'artère ovarienne (branche de l'aorte) et par des anastomoses avec l'artère utérine et l'artère du ligament rond.

La vascularisation veineuse pelvienne. Elle est constituée d'un lit veineux très étalé par rapport aux vaisseaux artériels homologues dont il double le plus souvent les branches collatérales. Le tronc principal est la veine iliaque interne située le long de la paroi pelvienne sous l'artère iliaque interne.

• **Les lymphatiques du pelvis.** La connaissance de ces groupes ganglionnaires est essentielle dans la compréhension de l'envahissement métastatique des cancers gynécologiques (utérus, col, ovaire). Tous les organes pelviens sont tributaires de trois groupes : le groupe iliaque externe, le groupe iliaque interne et le groupe du promontoire. Le plus important est le **groupe iliaque externe**, situé sur la paroi externe du pelvis et notamment sa chaîne interne sous-veineuse comprenant le **ganglion obturateur** (au contact du nerf obturateur). Ces ganglions doivent être retirés au cours du curage iliaque externe. L'ensemble de ces ganglions se draine vers les **ganglions iliaques primitifs** et ensuite vers les **chaînes ganglionnaires lombo-aortiques**.

• **L'innervation du pelvis** provient essentiellement du **plexus hypogastrique**, double formation lamellaire située dans les lames sacro-recto-génitales. Ces branches afférentes sont constituées du **nerf présacré** et des nerfs splanchniques pelviens accessoires (sympathiques) et des **nerfs érecteurs** (parasymphatiques) prenant leur origine sur les racines du **plexus honteux**.

► Périnée

La partie inférieure du petit bassin est tapissée par des formations musculo-aponévrotiques séparant les organes génitaux internes des organes génitaux externes et constituant un véritable plancher pelvien. L'ensemble des parties molles situées au-dessous du diaphragme pelvien constitue le **périnée** (figure 11.8). C'est une région complexe dont le rôle est très important dans le maintien des organes génitaux externes, dans l'incontinence vésicale et anale, dans les rapports sexuels et dans la mécanique obstétricale.

La formation la plus solide du plan supérieur correspond au plan musculo-aponévrotique supérieur situé entre le canal anal et le vagin, c'est le **noyau fibreux central du périnée**. Le muscle le plus important de cette formation et dans la dynamique périnéale est le **muscle releveur de l'anus** qui comprend deux parties : une partie externe ou sphinctérienne du releveur de l'anus, une partie interne rejoignant le canal anal et l'anus ainsi que le **noyau fibreux central du périnée**, c'est la partie élévatrice du releveur de l'anus. À la face supérieure de ce plan musculaire, représenté par le releveur de l'anus, il existe une lame fibreuse encore appelée **aponévrose pelvienne**. C'est sur cette aponévrose que reposent les viscères pelviens.

Les plans moyen et inférieur correspondent à une superposition de plans aponévrotiques, aponévrose moyenne et superficielle entre lesquels glissent les éléments musculaires. L'élément le plus solide est l'aponévrose moyenne qui engaine le **muscle transverse profond**. Derrière le plan cutané, au niveau du périnée anal postérieur, on retrouve autour du **canal anal**, le **sphincter externe de l'anus** et de chaque côté de celui-ci les **fosses ischio-rectales**. Ces fosses ischio-rectales contiennent essentiellement du tissu graisseux et le **paquet vasculo-nerveux honteux interne** qui irrigue et innerve le périnée et ses éléments anatomiques.

L'ensemble des ligaments mais aussi des aponévroses et des muscles centrés par le **noyau fibreux central du périnée** sont essentiels car leur distension lors de l'accouchement retentit généralement sur la dynamique des viscères pelviens et permettent de comprendre les techniques chirurgicales réparatrices.

► Organes génitaux externes et caractères sexuels secondaires

Vulve

La vulve recouvre l'espace superficiel du périnée ; c'est l'élément principal des organes génitaux externes parce qu'elle s'abouche au canal génital par l'intermédiaire du vagin et aux canaux urinaires par l'intermédiaire du méat urétral. Elle est formée d'une fente antéro-postérieure et du **vestibule**, bordée de chaque côté par deux replis, l'un externe cutané-muqueux la **grande lèvre**, l'autre interne muqueux la **petite lèvre** (figure 11.4). Les petites lèvres s'unissent à leur partie supérieure

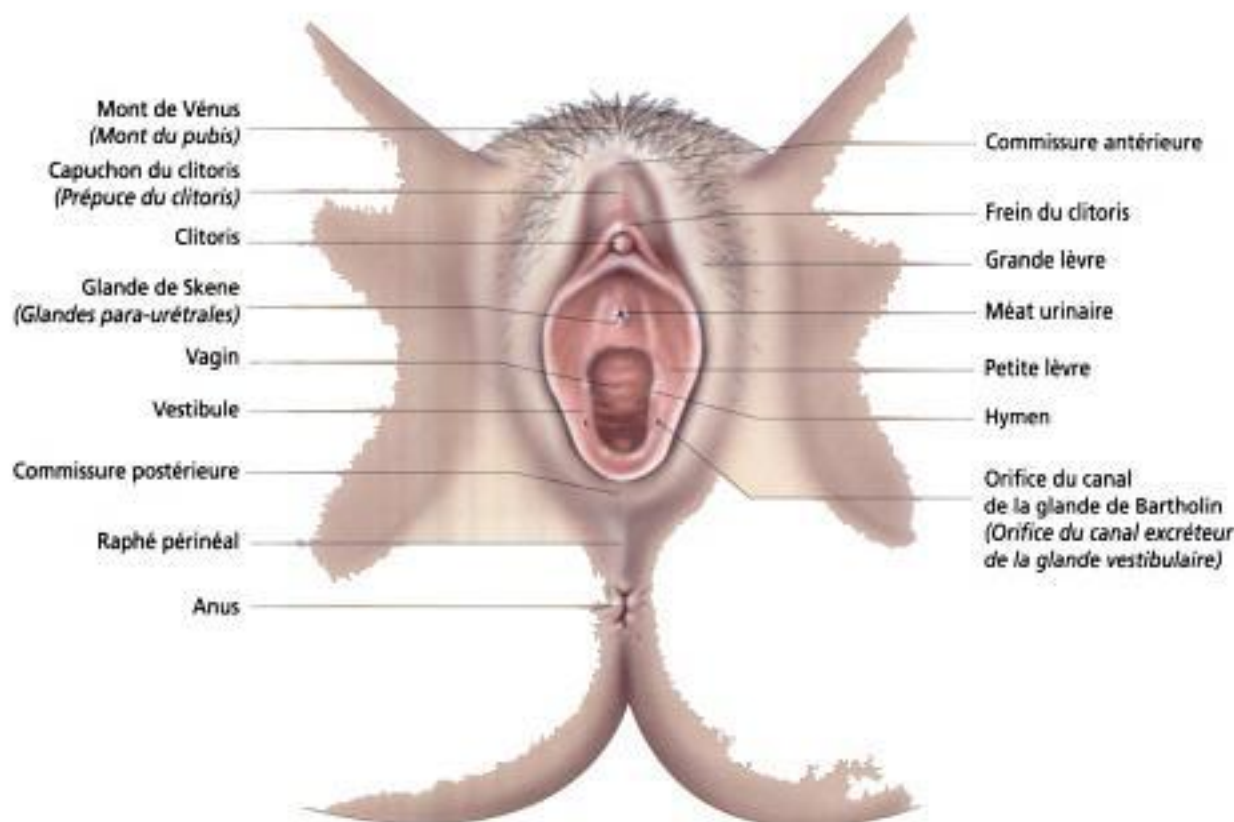


Figure 11.4. La vulve.

pour former le capuchon muqueux du clitoris. On distingue :

- **Le mont de Vénus du pubis** situé devant la symphyse pubienne. Il s'agit d'une couche cellulo-adipeuse, épaisse en continuité avec les grandes lèvres et couvert de poils de la couleur des cheveux du sujet.
- **Les grandes lèvres** formées de deux replis cutanés qui s'étendent du mont de Vénus à la région anale. Leur face externe de couleur plus foncée est couverte de poils, leur face interne est rosée, lisse et humide. Leur extrémité postérieure, forme la **commissure postérieure** située à 2,5 cm de l'anus. Les grandes lèvres sont formées de tissu adipeux et de fibres musculaires lisses formant un organe semi-érectile.
- **Les petites lèvres** sont situées en dedans des grandes lèvres; ce sont deux replis muqueux qui limitent le vestibule. Elles ont un aspect rose lisse mais prennent une coloration plus foncée pendant la grossesse et ont tendance à s'atrophier

pendant la ménopause. L'extrémité supérieure se dédouble autour du clitoris pour former au-dessus le **capuchon du clitoris** et au-dessous le frein du clitoris. L'extrémité postérieure forme la fourchette vulvaire dont la mobilisation transmise au prépuce participe à l'excitation mécanique du clitoris. Les petites lèvres contiennent une lame fibro-élastique riche en filets nerveux et en vaisseaux rappelant les corps érectiles chez l'homme et expliquant ses modifications physiologiques. Très élastiques, elles peuvent facilement s'allonger, ce qui est mis à profit en chirurgie plastique vulvaire et vaginale. Entre les grandes lèvres et les petites lèvres, il existe un sillon appelé **sillon interlabial**.

- **Le vestibule** est un espace virtuel à l'état normal limité latéralement par la face interne des petites lèvres et séparé du vagin par l'introït vaginal (obturé partiellement chez la vierge) bordé par les restes hyménéaux. Dans le tiers antérieur s'ouvre l'urètre par le méat urinaire.



- Le clitoris est l'organe érectile féminin qui correspond au pénis chez l'homme. Il est situé à la partie antérieure de la vulve en avant du vestibule sous le capuchon formé par le dédoublement des petites lèvres. Il se termine par un renflement nommé le gland du clitoris.

- Les bulbes vestibulaires sont deux formations latérales de tissu spongieux érectile plongeant en profondeur dans la paroi du vestibule et se réunissant au-devant du clitoris. Le clitoris et les bulbes vestibulaires sont richement vascularisés et innervés. Au cours de l'excitation sexuelle, leur réplétion ou leur détumescence est réglée par des phénomènes complexes de phases de régulation et de contraction de certains muscles destinés à bloquer le retour veineux.

- Les glandes annexes

- Les glandes de Bartholin sont deux glandes d'environ 1,5 cm situées de chaque côté de la vulve dans la partie postérieure du vestibule. Leurs canaux excréteurs longs de 1 à 2 cm se portent en avant pour s'ouvrir dans le vestibule près de l'insertion de l'hymen.

- Les glandes de Skene sont des petites glandes para-urétérales dont le canal excréteur s'ouvre de chaque côté de l'urètre.

Seins

Les seins sont deux glandes hémisphériques appendues à la face antérieure du thorax en avant des muscles pectoraux.

Configuration externe

Le sein est recouvert d'une enveloppe cutanée qui présente à son pôle antérieur l'aréole comprenant le mamelon, saillie conique de 1 cm de hauteur à la surface duquel s'ouvrent les canaux galactophores. L'aréole est une surface pigmentée brune de 4 cm de diamètre qui présente à sa surface des nodosités ou tubercules de Morgagni. Le sein vu de face peut se diviser en quatre quadrants, le quadrant supéro-externe, le quadrant supéro-interne, le quadrant inféro-externe et le quadrant inféro-interne. Au niveau de sa partie inférieure, le sein est relié à la paroi thoracique par le sillon sous-mammaire.

Configuration interne

Derrière l'enveloppe cutanée, la glande mammaire contenue dans le sein est entourée de tissu adipeux. Ce tissu adipeux antérieur est traversé perpendiculairement par du tissu fibreux (ligaments

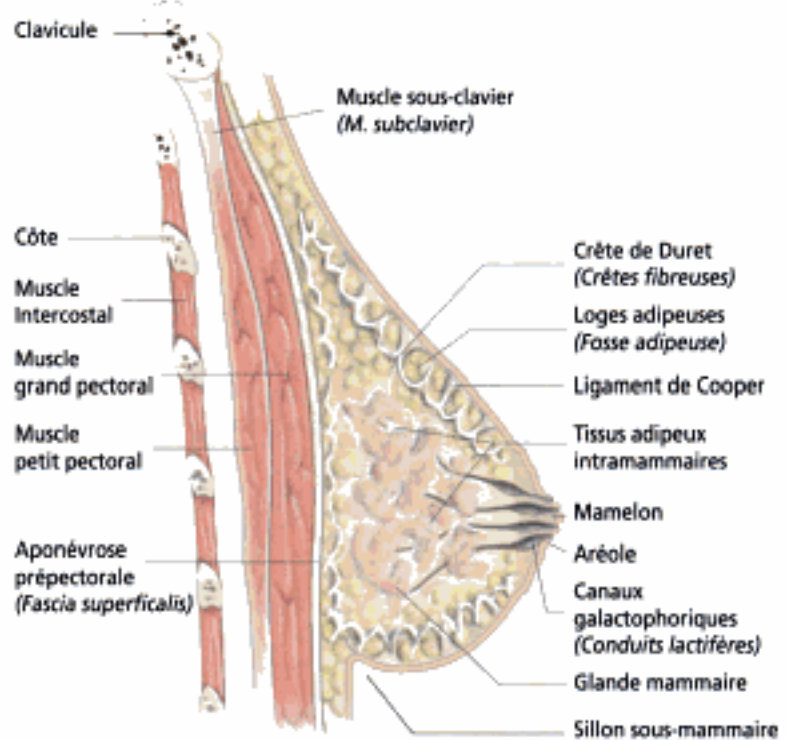


Figure 11.5. Configuration interne du sein.

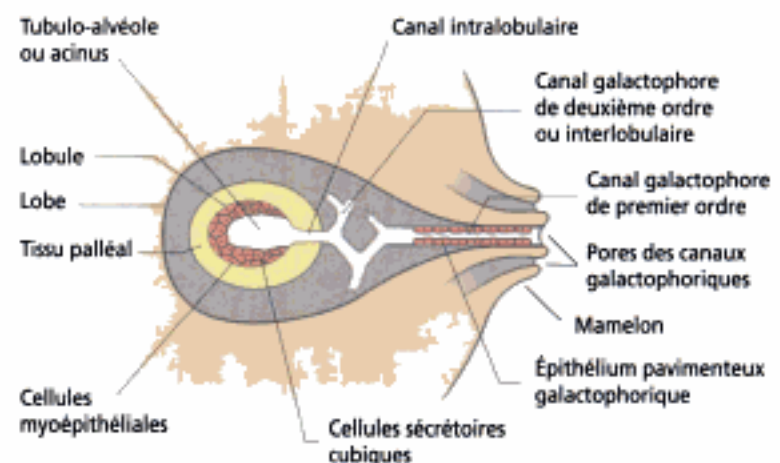


Figure 11.6. Les canaux galactophores.

Hidden page

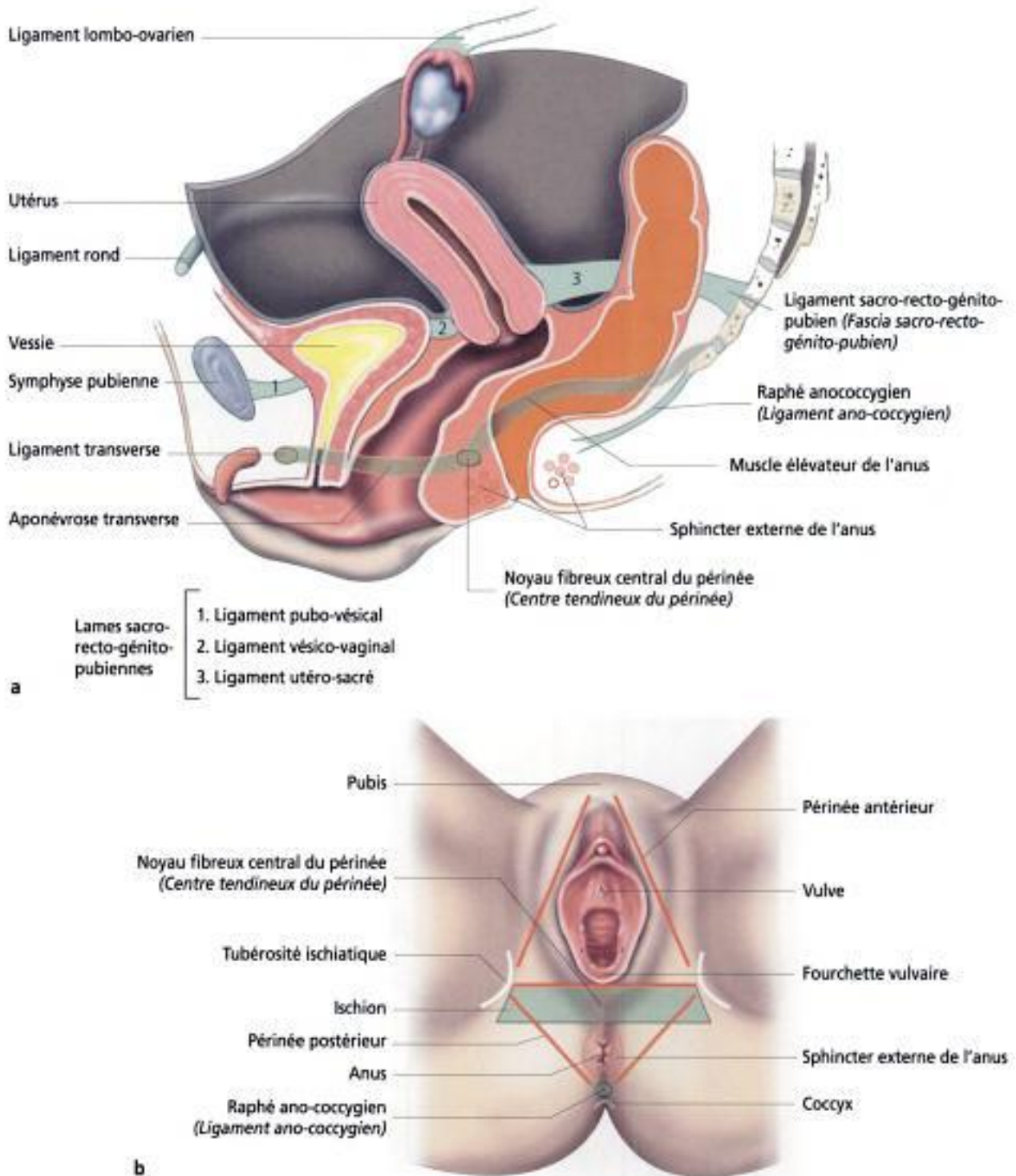


Figure 11.8. Le périnée.

a. Coupe schématique du périnée et des organes pelviens.

b. Schémas topographiques des différents éléments et des repères anatomiques du périnée externe.



Appareil génital masculin

ANATOMIE

Il comprend (figures 11.9, 11.10 et 11.11) :

- les **testicules**, glandes élaborant les gamètes mâles (spermatozoïdes) ;
- l'**épididyme**, le **canal déférent**, le **canal éjaculateur** et l'**urètre**, succession de conduits permettant l'excrétion des spermatozoïdes ;
- les **vésicules séminales** contenant le liquide séminal.

► Testicules

Ce sont des glandes à double fonction : **exocrine**, production des gamètes mâles et **endocrine**, production d'androgène et principalement la **testostérone**.

Situation

Les deux testicules sont situés à la racine des cuisses et contenus dans une série d'enveloppes constituant les **bourses** ou **scrotum** (figure 11.11). Une de ces enveloppes, la **vaginale** est une séreuse composée de deux feuillets formant la cavité vaginale et pouvant être le siège d'épanchements liquidiens (hydrocèle, hématocele). Pendant la vie fœtale, les testicules migrent de la région lombaire vers le pelvis, puis s'extériorisent en traversant le **canal inguinal**. À la naissance, les testicules sont normalement situés dans les bourses mais des anomalies de la migration peuvent donner lieu à des **ectopies testiculaires**.

Structure

À l'âge adulte, les testicules sont ovoïdes, de la taille d'un œuf de pigeon, mesurant environ 4 cm de longueur et 2,5 cm d'épaisseur. Chaque testicule est recouvert par une enveloppe fibreuse blanchâtre, l'**albuginée** qui entoure un grand

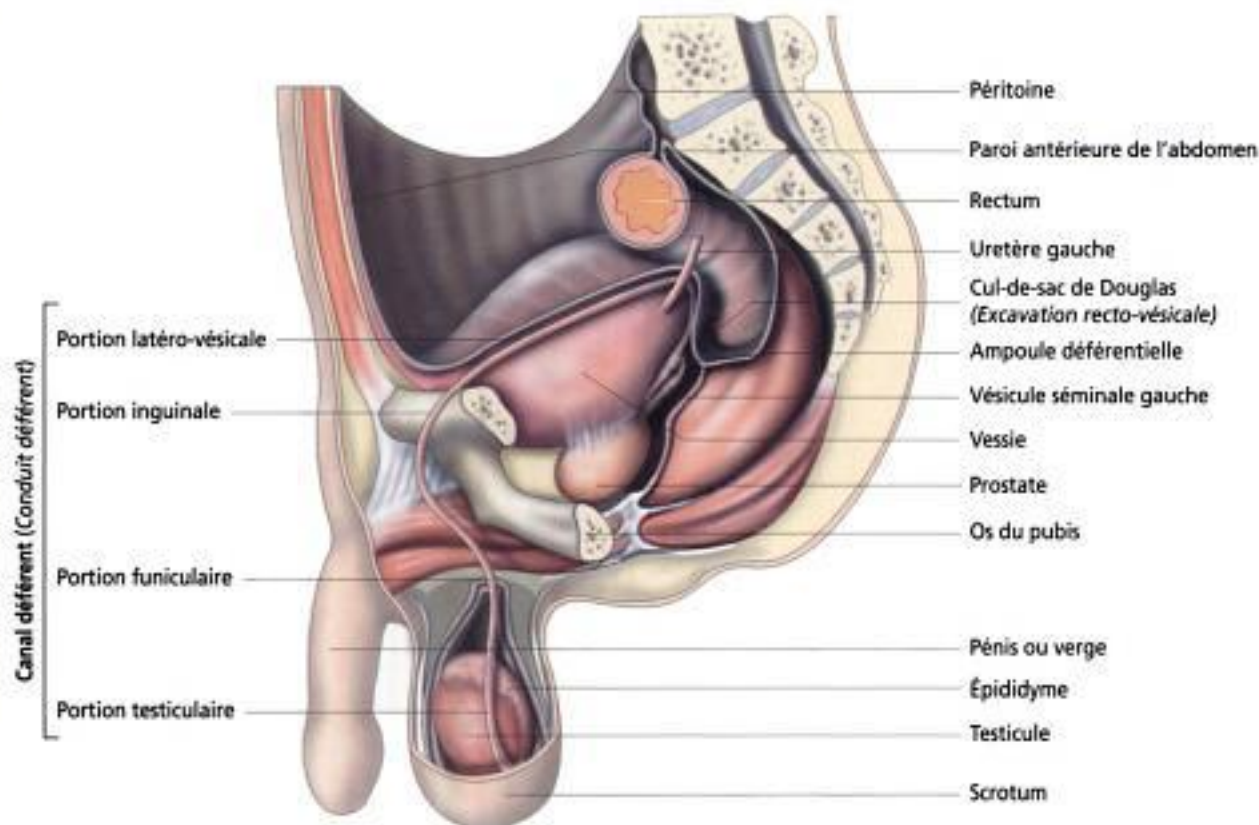


Figure 11.9. Vue générale de l'appareil génital masculin.

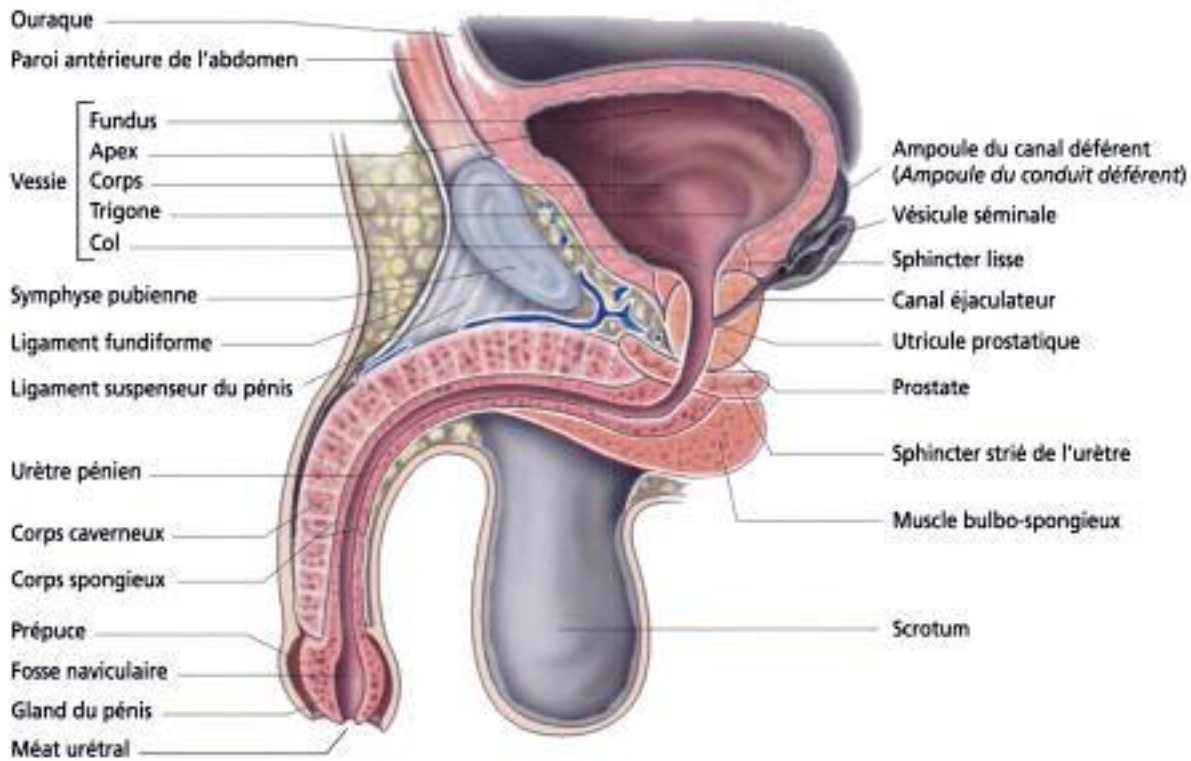


Figure 11.10. Coupe longitudinale de l'appareil génital masculin.

nombre de lobules testiculaires. Chaque lobule est formé par le regroupement de **tubes séminifères**. Ces tubes sont constitués :

- de cellules épithéliales de soutien, les **cellules de Sertoli**,
- de cellules de la lignée germinale qui donneront les **spermatozoïdes** après la méiose.

Entre les tubes séminifères, on trouve les cellules interstitielles ou **cellules de Leydig** qui possèdent une fonction endocrine (testostérone).

Les tubes séminifères évacuent les spermatozoïdes par un réseau de tubes aboutissant au rete testis, lui-même drainé par 10 à 12 canaux, les cônes efférents qui se jettent dans l'**épididyme**.

► Voies excrétrices

L'**épididyme** est un canal fin et très long, appliqué contre le testicule (figure 11.11). On distingue : la tête, volumineuse de la partie supérieure, le corps et enfin la queue, très effilée, située au pôle inférieur du testicule et se poursuivant par le canal déférent. Le canal déférent est fin (2 mm de calibre), de consistance ferme et long de 45 cm. Il

s'étend de la queue de l'épididyme au canal éjaculateur. Il commence en formant une anse, l'**anse épididymo-déférentielle** puis chemine vers la région inguinale, en compagnie des vaisseaux et des nerfs destinés au testicule en formant le **cordon spermatique**. À ce niveau, le déférent est facilement palpable. Après la traversée du canal inguinal, il longe la face latérale de la vessie et atteint la base de la prostate. Il se termine en se dilatant, l'**ampoule déférentielle**, qui sert de réservoir aux spermatozoïdes entre les éjaculations. Les canaux éjaculateurs sont formés par la réunion du canal déférent et de la vésicule séminale homolatérale. Ces deux canaux sont très courts et inclus dans la prostate. Ils débouchent dans l'**urètre postérieur prostatique** au niveau d'une saillie postérieure le **veru montanum** et d'un diverticule l'**utricule prostatique**. L'urètre présente donc une double fonction : urinaire (véhicule l'urine) et génitale (véhicule le liquide spermatique).

► Glandes annexes

Les **vésicules séminales** sont deux réservoirs situés en arrière de la prostate et débouchant sur

Hidden page

Hidden page

Hidden page



provoque l'ovulation et la formation du corps jaune sécrétant.

- **La prolactine.** Elle est sous la dépendance d'un « releasing factor » inhibiteur, la *Prolactin Inhibiting Factor* (PIF).

- **La régulation de l'hypophyse,** très mal connue, est dominée par deux ordres de phénomènes :

1. Phénomène de feedback

Sur le taux de LH

- La progestérone diminue la fréquence des pulsations de LHRH et augmente leur amplitude aboutissant à une diminution du taux de LH plasmatique.

- L'œstradiol (E_2) affecte la sécrétion de gonadotrophines à la fois par une action sur la sécrétion de LHRH et par modification de la sensibilité au décapeptide. Quand le taux d'œstradiol est bas, en phase folliculaire précoce, l'effet biofeedback est négatif. Par contre, en phase folliculaire tardive, lorsque l'œstradiol dépasse un certain seuil, ce biofeedback est interrompu provoquant la décharge préovulatoire de gonadotrophines sans qu'une augmentation de la LHRH soit indispensable.

Sur le taux de FSH. L'inhibine sécrétée par les cellules de la granulosa va se fixer sur des récepteurs spécifiques hypophysaires et entraîne une diminution importante de la FSH.

2. Action du système neuro-central

L'hypothalamus est pratiquement connecté à tout le système nerveux dont il reçoit des informations. Ainsi, certains agents, dopamine, prostaglandines, endorphines, semblent jouer un rôle dans sa régulation. Certaines fibres nerveuses à médiation chimique (sérotonine, acétylcholine, noradrénaline) sont aussi capables de contrôler non pas la sécrétion mais le déversement des « releasing factors » dans la circulation sanguine. Aussi, on comprend le rôle du stress, des perturbations psychologiques, des maladies psychotiques et même des médicaments psychotropes et le fait qu'ils soient capables de modifier de haut en bas toute la physiologie génitale féminine.

Ovaires

Les glandes sexuelles féminines ont deux fonctions :

- l'une exocrine aboutissant à l'émission de la cellule germinale en vue de la fécondation : c'est la folliculogénèse ;

- l'autre endocrine par la sécrétion de trois types de stéroïdes sexuels : œstrogènes, progestérone, androgènes.

- **Les œstrogènes.** C'est essentiellement le 17- β -œstradiol sécrété par les cellules de la thèque interne du follicule ovarien puis en partie par le corps jaune. Leur sécrétion faible au début de la phase folliculaire, augmente rapidement avec un maximum avant l'ovulation, une légère décroissance après l'ovulation et un second maximum plus modéré au cours de la phase lutéale. Les œstrogènes sont responsables de la prolifération endométriale.

- **La progestérone.** Elle est sécrétée par le corps jaune ovarien. Absente de la phase folliculaire, elle est sécrétée dans toute la deuxième partie du cycle et son taux s'effondre en période prémenstruelle. Son activité nécessite l'imprégnation œstrogénique préalable et aboutit aux modifications permettant la nidation ovulaire. Il existe donc une synergie d'action entre ces deux hormones. La progestérone agit sur un endomètre préparé par l'action des œstrogènes, et la chute des deux hormones entraîne la menstruation.

Conclusion

On peut ainsi schématiser le cycle menstruel normal : en phase préovulatoire, l'hypothalamus libère dans le système porte du Gn-RH ; l'hypophyse sécrète des quantités croissantes de FSH mais également de LH, ce qui induit la croissance folliculaire et la sécrétion d'œstradiol. L'hyperœstrogénie progressive par rétrocontrôle négatif freine la sécrétion de FSH en fin de phase folliculaire.

- **Pic préovulatoire.** L'hyperœstrogénie par rétrocontrôle positif entraîne une décharge brusque et importante de LH au 14^e jour.

- **Phase postovulatoire.** Les taux circulants élevés d'œstradiol et de progestérone freinent la sécrétion de LH et de FSH.

- **Fin de cycle.** La chute de la sécrétion des hormones est à l'origine des règles et permet la réascension des taux de FSH et de LH et donc le début du cycle suivant.

► Fécondation

La fécondation est le résultat de la fusion du spermatozoïde (gamète mâle) et de l'ovule (gamète femelle).

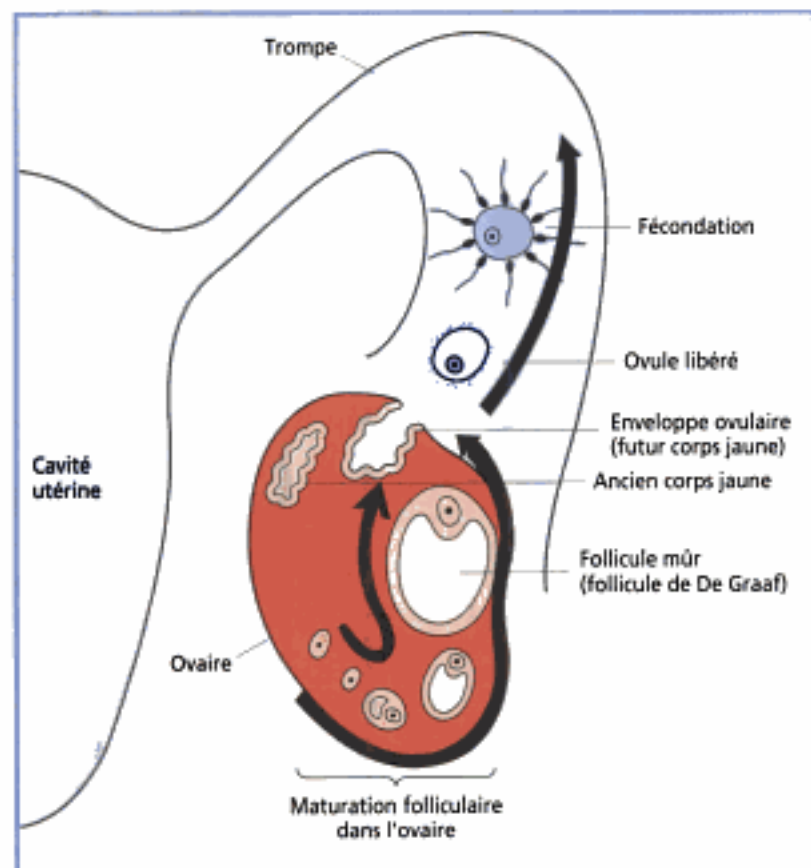


Figure 11.14. De l'ovulation à la fécondation.

Ovulation

L'ovulation correspond à la rupture d'un follicule mûr (follicule de De Graaf) (figures 11.12 et 11.14) à la surface d'un des deux ovaires. Elle se produit normalement une fois par mois vers le 14^e jour du cycle lorsque les cycles durent 28 jours. L'ovule est ainsi expulsé dans la cavité péritonéale et est recueilli par les franges du pavillon d'une des trompes. Il progresse ensuite dans l'ampoule tubaire grâce aux battements des cils de l'épithélium tubaire et à des ondes péristaltiques tubaires. Au niveau hormonal, le pic de LH provoque l'ovulation et la formation du corps jaune. L'ovulation a lieu 36 à 40 heures après le pic de la LH.

Chaque follicule contient un ovocyte dit de **premier ordre** avec 46 chromosomes bloqués au premier stade de division cellulaire. Un seul follicule arrive à maturation au cours de chaque cycle. Il contient l'ovocyte du premier ordre, et est entouré de plusieurs couches cellulaires, dont la thèque interne, lieu de sécrétion des œstrogènes.

Lors de son expulsion, l'ovocyte de premier ordre termine sa division et donne naissance à deux cellules comportant chacune 23 chromosomes (première phase de la méiose ou mitose réductionnelle) : le premier globule polaire qui va être résorbé, et l'ovocyte de deuxième ordre, prêt pour la fécondation. À partir de son expulsion, l'ovule est fécondable pendant environ 24 heures.

Le corps jaune se développe à partir du follicule rompu. Il est à l'origine de la sécrétion de progestérone, et poursuit la sécrétion d'œstrogènes. En l'absence de fécondation, il régresse dans la période prémenstruelle, alors que l'ovule se résorbe. En cas de fécondation, il s'hypertrophie et poursuit ses sécrétions hormonales, ce qui explique l'absence de règles.

Spermatogenèse

Les testicules ont deux fonctions distinctes :

- une fonction endocrine ou sécrétion hormonale d'androgènes ;
- une fonction exocrine ou spermatogenèse.

La spermatogenèse correspond aux différentes étapes de maturation des cellules de la lignée germinale de l'homme qui aboutissent aux spermatozoïdes. Elle débute chez le garçon à la puberté et peut continuer jusqu'à la sixième décennie environ. La croissance et la maturation du spermatozoïde sont sous la commande de la sécrétion de FSH par l'antéhypophyse, elle-même sous la commande de la sécrétion de LHRH, hormone d'origine hypothalamique. Les spermatozoïdes ainsi produits s'accumulent dans les voies génitales mâles (épididyme et canal déférent). Au moment du coït, ils sont éliminés par l'urètre avec le liquide séminal sécrété par la prostate et les vésicules séminales. L'éjaculat a un volume compris entre 1,5 et 6 mL et un pH compris entre 7,2 et 7,9.

À RETENIR

Les caractéristiques du sperme normal sont :

- Numération : 20 à 200 millions de spz/mL.
- Mobilité : supérieure à 40 % 1 h après émission > à 40 % 4 h après.
- Vitalité : plus de 70 % de formes vivantes 1 h après, plus de 65 % 4 h après.
- Morphologie : moins de 60 % de formes anormales.
- Absence de cellules inflammatoires et de cellules immatures.

Hidden page



protéolytique des cellules de la couche trophoblastique, il pénètre dans l'épaisseur du chorion entre les tubes glandulaires. La partie en profondeur de la muqueuse utérine où s'est enfoui l'œuf s'appelle la **couche déciduale**, alors que la partie superficielle, vers la cavité utérine, est appelée **caduque**. À la fin de la première semaine, l'œuf, au stade de blastocyste, est implanté dans la muqueuse utérine.

Embryogenèse

Après la phase de segmentation et de multiplication cellulaire, c'est la période d'organogenèse qui commence. Elle correspond aux deux premiers mois ou période embryonnaire.

- La deuxième semaine correspond à la formation du disque embryonnaire (figure 11.17). Le bouton embryonnaire se transforme en **disque embryonnaire** en prenant l'aspect d'un disque plat, formé de deux couches cellulaires superposées : l'**ectoblaste** et l'**endoblaste**, et se creuse pour former la **cavité amniotique**.

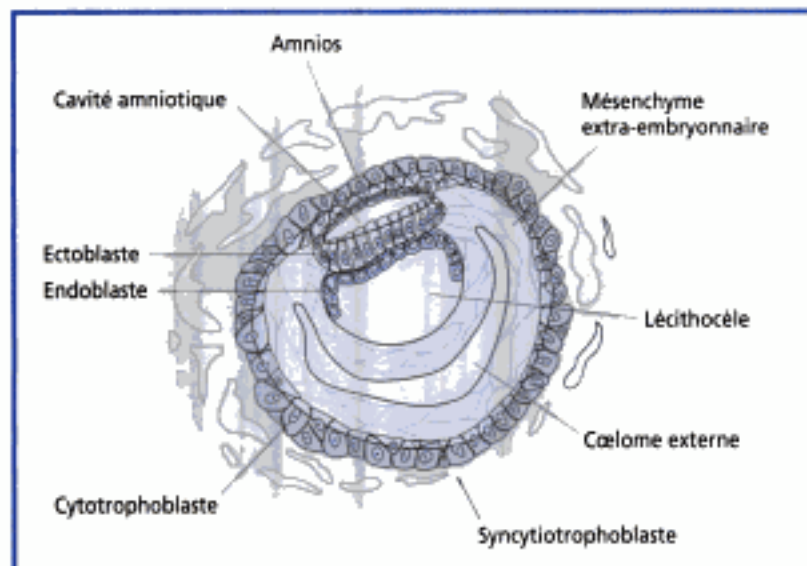


Figure 11.17. Le disque embryonnaire.

Le blastocèle est séparé par une membrane en **lécithocèle** ou **sac vitellin** primaire et en **cœlome externe**, extra-embryonnaire, qui entoure peu à peu le bouton embryonnaire, amorçant ainsi la formation du pédicule embryonnaire.

Le trophoblaste se différencie en **cytotrophoblaste** et **syncytiotrophoblaste**.

- La troisième semaine ou **gastrulation** correspond à la mise en place du troisième feuillet primitif ou **mésoblaste**, entre l'**ectoblaste** et l'**endoblaste**, par invagination de l'**ectoblaste**. À la partie caudale de l'embryon, apparaît un diverticule endoblastique : l'**allantoïde**. Au niveau des annexes, les éléments qui permettent la mise en contact par l'intermédiaire des villosités trophoblastiques des circulations maternelles et fœtales sont en place.

- Au cours de la quatrième semaine :

- le **cœlome externe** diminue, refoulé par la cavité amniotique qui s'accroît et qui vient entourer peu à peu tout l'embryon ;
- le **lécithocèle** s'étrangle : la vésicule ombilicale apparaît reliée à l'intestin primitif par le futur canal vitellin, l'**allantoïde** s'allonge, accompagné des vaisseaux allantoïdiens ;
- le disque embryonnaire s'enroule petit à petit et prend un aspect d'embryon humain. Cet enroulement isole l'embryon de ses annexes auxquelles il n'est plus relié que par le cordon ombilical.

- Pendant le deuxième mois, la morphologie externe de l'embryon se modifie avec le développement de la face et des membres pendant que les tissus et les organes prennent leur aspect définitif. L'**ectoblaste** donne le système nerveux et les téguments, ainsi que les glandes mammaires, les glandes salivaires et l'ébauche dentaire.

Le **mésoblaste** donne le squelette, le tissu conjonctif, les muscles, l'appareil uro-génital et l'appareil cardio-circulatoire.

L'**endoblaste** donne le tube digestif, les glandes qui lui sont attachées (pancréas, foie), et l'appareil respiratoire.

Parallèlement, la cavité amniotique se développe, entraînant la disparition du cœlome externe et la formation du cordon ombilical, contenant les vaisseaux vitellins en régression et les vaisseaux allantoïdiens ou ombilicaux.

La période embryonnaire est la période de risque de tératogenèse. Chaque organe ou appareil est d'autant plus sensible à ce risque que l'agent tératogène fait effet au moment où il se trouve à la phase initiale de sa différenciation.

La période fœtale va du 3^e au 9^e mois de grossesse. C'est une période de croissance du poids et de la taille fœtale. C'est pendant cette période qu'ont lieu les phénomènes de maturation et de différenciation tissulaire des organes déjà mis en place, en leur donnant leur caractère histologique et



fonctionnel. C'est aussi pendant cette période qu'a lieu la poursuite de l'organogenèse du système nerveux et de l'appareil génital, ainsi que la formation du placenta.

► Annexes fœtales

Placenta

Le tissu trophoblastique se développe après la nidation en émettant des prolongements ou villosités. Chaque gros tronc villositaire va donner des ramifications villositaires. L'axe de ces villosités est représenté par des capillaires qui se raccordent à un réseau vasculaire qui rejoint le cordon ombilical et, de là, la circulation embryonnaire.

Du côté maternel, des artérioles débouchent au niveau de l'axe sanguin maternel qui sont au contact des ramifications villositaires. Ce sang est ensuite drainé par l'intermédiaire du sinus veineux.

C'est au niveau de ces lacs sanguins et des ramifications villositaires que l'échange entre le sang maternel et fœtal a lieu. Les parois villositaires jouent le rôle de filtre, mais il n'y a à aucun moment un mélange des deux circulations.

À partir de la 7^e ou 8^e semaine, les villosités ne se développent plus que sur une zone limitée correspondant au placenta. Les autres villosités disparaissent laissant place à une membrane appelée chorion. C'est cette membrane qui vient s'appliquer sur les parois recouvertes par la caduque maternelle lorsque l'œuf, ayant grossi, remplit toute la cavité utérine.

Le placenta a ainsi l'aspect d'un disque plus ou moins ovalaire. Sa face maternelle, charnue, est parcourue par des sillons délimitant une quinzaine de cotylédons. Sa face fœtale, lisse, est recouverte par l'amnios, sous lequel cheminent les premières ramifications des gros vaisseaux et du cordon ombilical. À terme, les dimensions du placenta sont d'environ 20 cm de diamètre, 3 à 5 cm d'épaisseur, et son poids correspond environ au sixième du poids du fœtus.

Membranes et cavité amniotique

Les membranes (accolement de l'amnios et du chorion) prolongent le placenta en périphérie. Elles forment une poche contenant le fœtus baignant dans le liquide amniotique. Le liquide amniotique provient en partie, surtout au début de la grossesse, de la transudation à travers la peau et le cordon fœtal et à travers la caduque et les membranes. Son origine principale est constituée par les sécrétions bronchopulmonaires et surtout par l'urine fœtale. Elle est renouvelée grâce à la déglutition fœtale et à la réabsorption à travers la circulation maternelle. Proche du terme, la quantité de liquide amniotique est de l'ordre de 500 à 1 000 mL.

Cordon ombilical

Le cordon ombilical résulte de l'allongement du pédicule embryonnaire. Il s'insère sur la face fœtale. À terme, il comporte deux artères ombilicales qui conduisent le sang désaturé du fœtus au placenta, et une veine ombilicale qui apporte le sang oxygéné du placenta au fœtus.

Physiologie du placenta

Le placenta, interposé entre la circulation maternelle et fœtale, assure le rôle d'apport d'oxygène et de substances énergétiques de la mère au fœtus et d'élimination des produits de métabolisme du fœtus vers la mère. Ce rôle est assuré grâce à l'organisation et au développement des structures villositaires qui augmentent au fur et à mesure des besoins.

La barrière placentaire est perméable à certains médicaments. Habituellement, les bactéries et les parasites traversent rarement la barrière placentaire en début de la grossesse, plus souvent en fin de grossesse. En revanche, les virus traversent assez facilement, même en début de grossesse. Enfin, les anticorps type IgG traversent la barrière placentaire tandis que les anticorps type IgM ne la traversent pas.

Hidden page

CAHIER D'ENTRAÎNEMENT

SUJETS CORRIGÉS • SUJETS CORRIGÉS • SUJETS CORRIGÉS



Tests de connaissances

27.

Table des matières du cahier d'entraînement

TESTS DE CONNAISSANCES

	Sujets	Corrigés
La cellule : unité de vie	229	243
Structure	229	243
Physiologie	229	243
Squelette et système locomoteur	229	243
Anatomie	229	243
Physiologie	229	243
Système circulatoire	230	244
Anatomie	230	244
Physiologie	230	244
Système respiratoire	231	245
Anatomie	231	245
Physiologie	231	245
Système digestif	232	246
Anatomie	232	246
Physiologie	232	246
Système urinaire	233	247
Anatomie	233	247
Physiologie	233	247
Système nerveux	234	248
Anatomie	234	248
Physiologie	234	248
Vie de relation : organes des sens	236	249
Anatomie	236	249
Physiologie	238	249
Système endocrinien	238	250
Anatomie	238	250
Physiologie	239	250
Sang et système immunitaire	239	251
Anatomie	239	251
Physiologie	240	251
Appareil reproducteur	240	251
Anatomie	240	251
Physiologie	241	252

Testez-vous

L'anatomie en ligne sur www.masson.fr

Tests de connaissances

Sujets

La cellule : unité de vie

STRUCTURE

Citer trois organites intracellulaires et dire leur fonction.

PHYSIOLOGIE

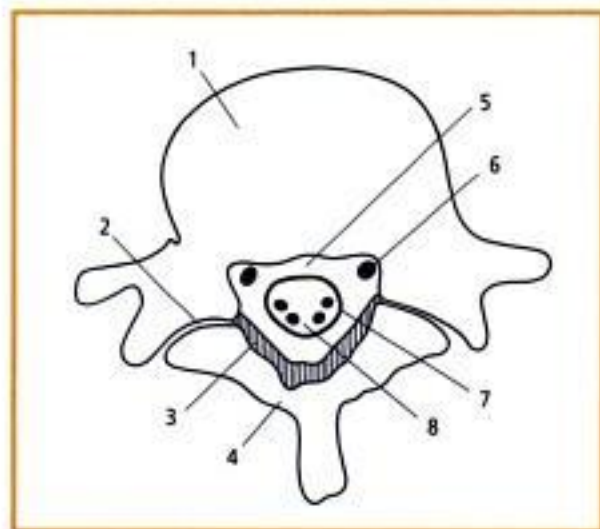
Quelles sont les quatre bases constitutives de l'ADN ?

CORRIGÉS, p. 243

Squelette et système locomoteur

ANATOMIE

1. Énumérer les structures qui constituent une articulation mobile (diarthrose) comme le genou et indiquer leur rôle essentiel.
2. Annoter le schéma d'une coupe de l'axe vertébral à la hauteur du corps de la 5^e vertèbre lombaire (L5).



PHYSIOLOGIE

1. À quoi sert le cartilage de conjugaison ?
2. Indiquer sommairement le rôle essentiel sur le tissu osseux de :
 - L'hormone parathyroïdienne.
 - La thyrocalcitonine.
 - L'hormone somatotrope hypophysaire.
 - Les hormones surrénaliennes et les médicaments dérivés de la cortisone.
 - La carence œstrogénique.
 - La vitamine D.
 - THS (Traitement hormonal substitutif de la ménopause).

CORRIGÉS, p. 243

3. Au niveau de quelle vertèbre et comment se termine la moelle épinière ?

Système circulatoire

ANATOMIE

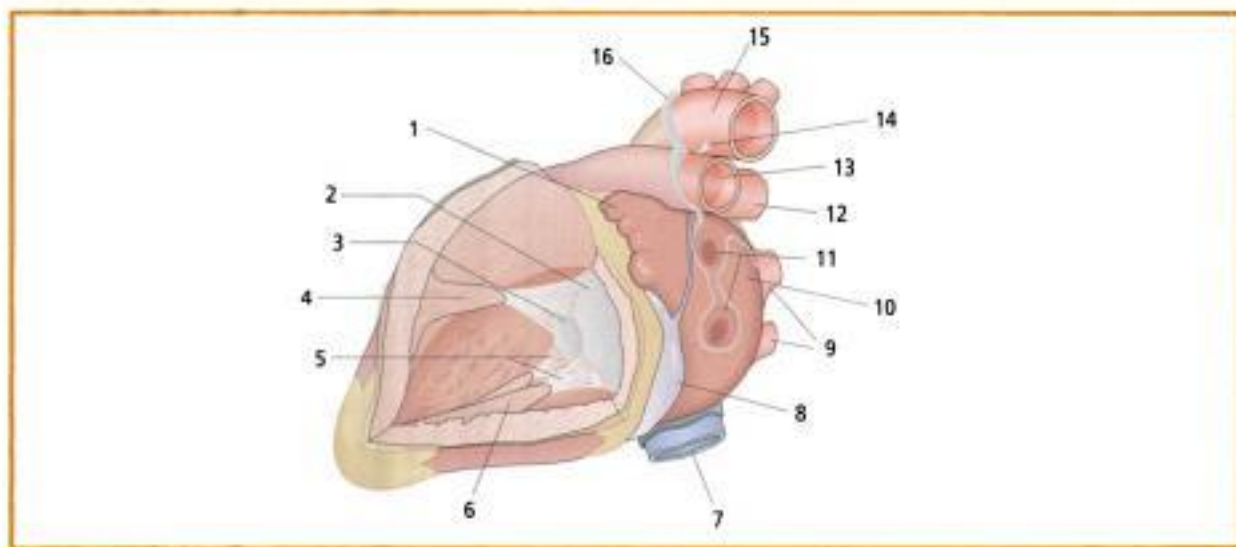
1. Cocher les propositions exactes concernant l'anatomie du cœur :

- a. La valvule d'Eustachi est située à l'abouchement de la veine cave inférieure. ☐
- b. La valve pulmonaire comporte trois sigmoïdes. ☐
- c. La veine cave inférieure s'abouche dans l'oreillette gauche. ☐
- d. La valve tricuspide comporte deux feuillets : antérieur et postérieur. ☐
- e. Les veines pulmonaires s'abouchent dans l'oreillette gauche. ☐

2. Cocher les propositions exactes concernant l'anatomie cardio-vasculaire :

- a. La valve aortique est composée de deux sigmoïdes antérieure et postérieure. ☐
- b. La valve mitrale comporte deux feuillets : valve antérieure et valve postérieure. ☐
- c. Le sinus coronaire s'abouche dans l'oreillette gauche. ☐
- d. Les artères coronaires sont les premières branches de l'artère pulmonaire. ☐
- e. La carotide primitive gauche naît directement de l'aorte thoracique. ☐

3. Compléter le schéma suivant de la valve mitrale.



PHYSIOLOGIE

1. Cocher les propositions exactes concernant l'ECG :

- a. L'électrode V1 se place dans le 4^e espace intercostal gauche. ☐
- b. L'électrode V1 se place dans le 4^e espace intercostal droit. ☐
- c. L'électrode V4 se place sous le mamelon gauche. ☐
- d. L'électrode V3 se place après avoir placé V4, entre V2 et V4. ☐
- e. Les électrodes précordiales à poire ne doivent pas être maintenues en place de façon prolongée car elles peuvent provoquer des phlyctènes cutanées. ☐

- 2. Citer les deux principales méthodes de mesure du débit cardiaque.
- 3. Qu'est-ce qu'un rythme cardiaque sinusal? Quelle est sa fréquence? Qu'est-ce qu'un rythme cardiaque jonctionnel? Quelle est sa fréquence?
- 4. Définir les termes suivants : systole ventriculaire, diastole, contraction isovolumétrique, relaxation isovolumétrique.
- 5. Un patient est hospitalisé pour infarctus du myocarde; quelles sont les 2 principales méthodes de mesure du débit cardiaque et de la fraction d'éjection du ventricule gauche et quelles sont les valeurs moyennes de ces paramètres chez l'adulte sain?

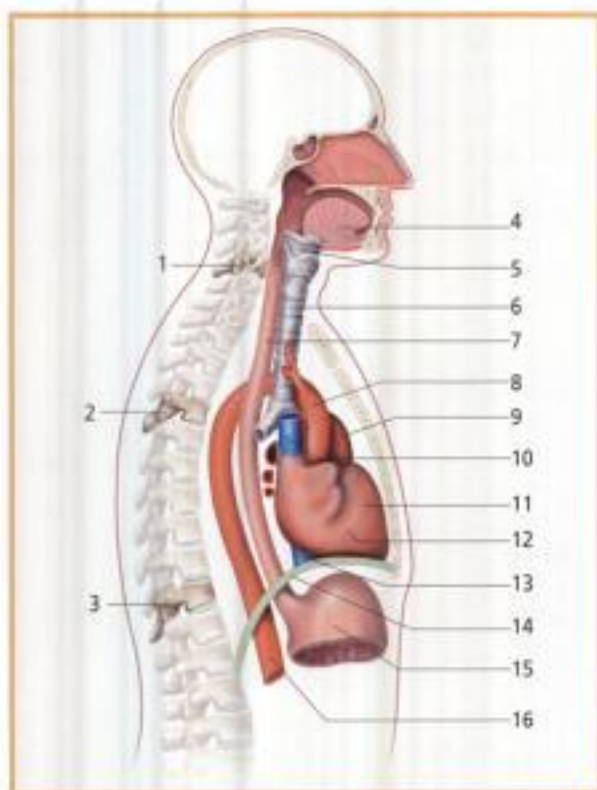
CORRIGÉS, p. 244

Hidden page

Système digestif

ANATOMIE

1. Annoter le schéma suivant.



2. Concernant la vascularisation du foie (cocher la ou les bonnes réponses) :
- Le sang arrive au foie à la fois par une artère et par une veine. ☐
 - Le drainage sanguin du foie se fait à la fois par une artère et par une veine. ☐

- Le terme « porte » signifie : « situé entre 2 réseaux capillaires ». ☐
 - La veine porte apporte au foie les nutriments absorbés par le tube digestif. ☐
 - L'artère hépatique apporte 75 % du débit sanguin hépatique. ☐
3. Quels sont les organes situés en totalité sous le diaphragme ? (cocher la ou les bonnes réponses)
- L'œsophage. ☐
 - L'estomac. ☐
 - Le pancréas. ☐
 - La vésicule biliaire. ☐
 - Le foie. ☐

PHYSIOLOGIE

1. Concernant la digestion (cocher la ou les bonnes réponses) :
- La digestion des glucides commence dans la bouche. ☐
 - L'absorption des protéides est maximale dans l'estomac. ☐
 - Le côlon est le segment du tube digestif où l'absorption des nutriments est la plus importante. ☐
 - Les protéines sont transformées par la digestion en acides aminés. ☐
 - La bile permet de solubiliser les graisses. ☐
2. Résumer en quelques lignes les fonctions des différents organes du tube digestif : bouche, œsophage, estomac, pancréas exocrine, foie, vésicule biliaire, intestin grêle, côlon.

CORRIGÉS, P 246.

Hidden page

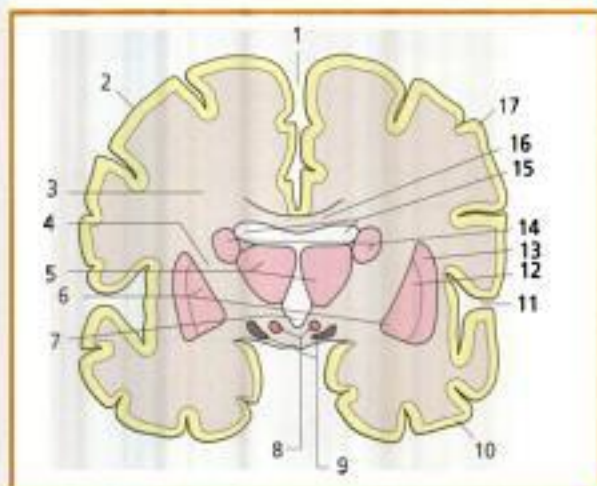
4. Quelle est la proportion du débit cardiaque destinée aux reins? Donner une estimation de la quantité totale de sang qui traverse les reins chaque jour.
5. Définir la fonction du glomérule rénal.
6. Quelle est la quantité d'urine primitive (= débit de filtration glomérulaire) formée par minute et par jour?
7. Définir la fonction du tubule rénal.
8. Quelles sont les autres fonctions des reins, non directement en relation avec la formation de l'urine? (cocher la ou les bonnes réponses)
 - a. La synthèse de dérivés actifs de la vitamine D. ☐
 - b. La production d'aldostérone. ☐
 - c. La production de rénine. ☐
 - d. La synthèse d'érythropoïétine. ☐

CORRIGÉS, p. 247

Système nerveux

ANATOMIE

1. Combien dénombre-t-on de racines nerveuses cervicales, dorsales, lombaires et sacrées?
2. Annoter le schéma suivant d'une coupe frontale du cerveau : les thalamus et les noyaux gris centraux.
3. Quels sont les 4 lobes cérébraux?



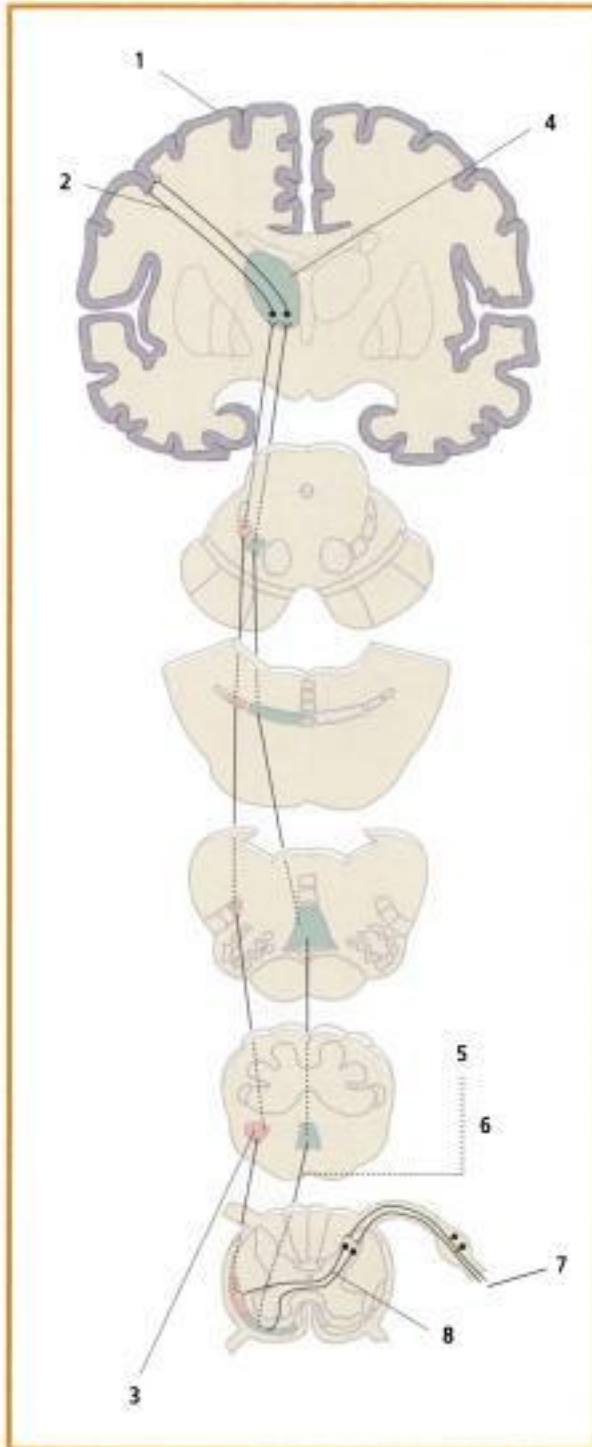
PHYSIOLOGIE

1. Décrire les grands systèmes intervenant dans l'équilibre.
2. La conduction de l'influx le long d'une fibre nerveuse (cocher la ou les bonnes réponses) :
 - a. Se fait à vitesse constante quel que soit le type de fibre. ☐
 - b. Est liée à des phénomènes de transports ioniques. ☐
 - c. Fait intervenir une pompe à sodium qui fonctionne sans consommer d'ATP. ☐
 - d. Est liée à la transmission d'une substance chimique appelée neurotransmetteur. ☐
 - e. Peut être étudiée par l'EMG de stimulo-détection. ☐
3. Le système nerveux central (cocher la ou les bonnes réponses) :
 - a. Fonctionne de manière totalement indépendante du système nerveux périphérique. ☐
 - b. Peut être subdivisé en systèmes anatomiquement et fonctionnellement distincts. ☐
 - c. La distinction entre substance grise et substance blanche repose sur des caractéristiques tinctoriales lors de l'examen macroscopique du cerveau. ☐
 - d. La substance grise renferme les oligodendrocytes. ☐
 - e. La substance blanche est le lieu de passage des grandes voies ascendantes et descendantes. ☐

4. Annoter le schéma suivant des voies de la sensibilité lemniscale.

5. Quelles sont les conséquences d'une embolie dans l'artère cérébrale moyenne ou artère sylvienne ?

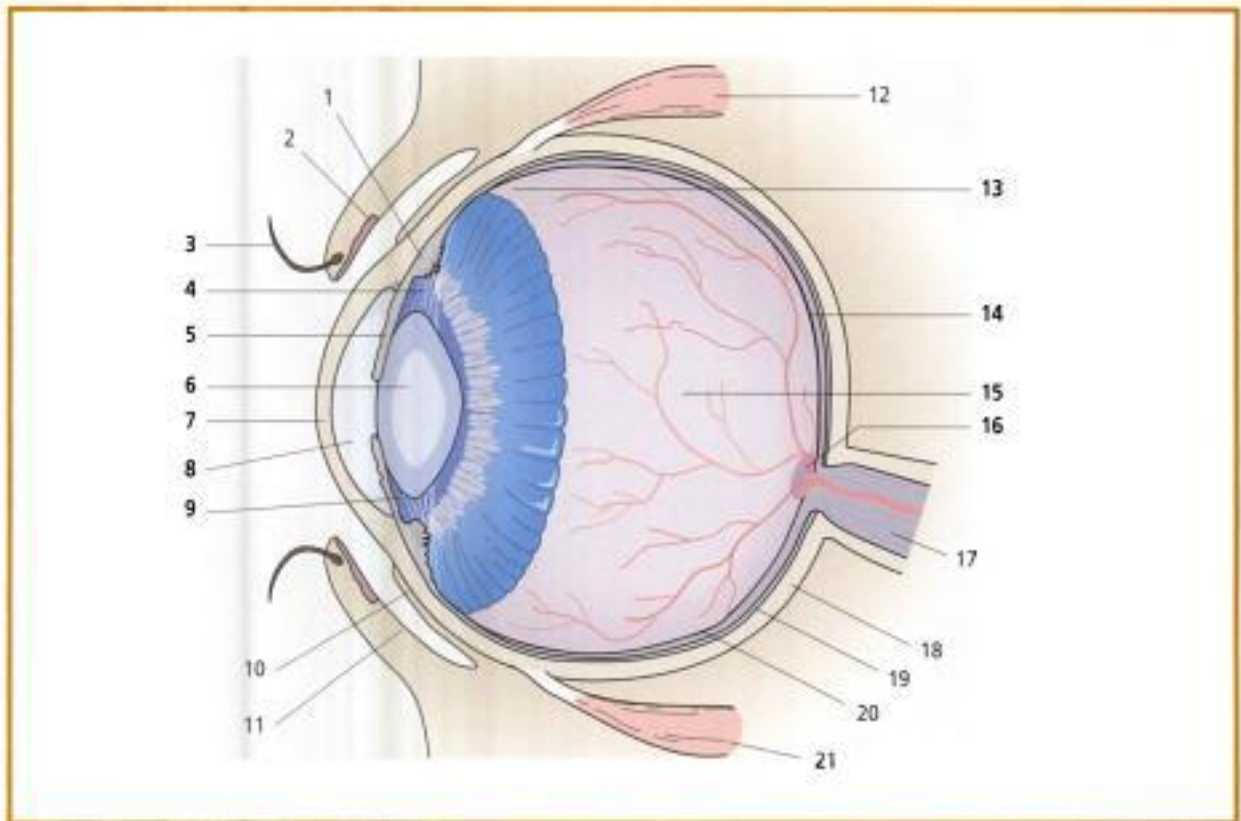
CORRIGÉS, p. 248



Vie de relation : organes des sens

ANATOMIE

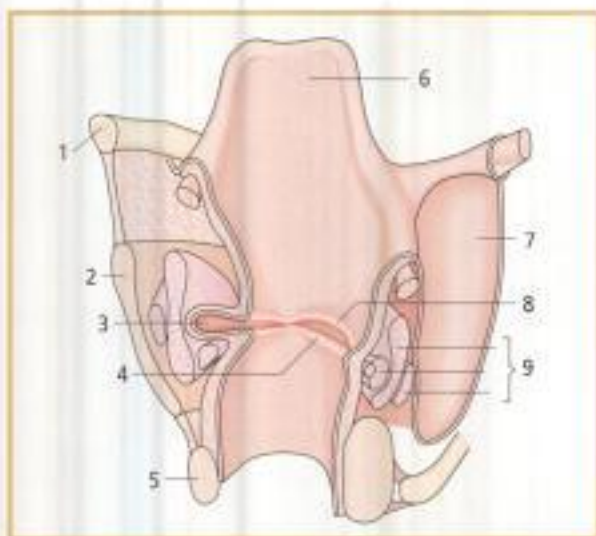
1. Annoter le schéma suivant d'une coupe sagittale du globe oculaire.



2. Les deux zones ayant un aspect particulier au fond d'œil sont (cocher la ou les bonnes réponses) :
- a. La cornée. ☐
 - b. La papille. ☐
 - c. Le chiasma optique. ☐
 - d. Le corps ciliaire. ☐
 - e. La macula. ☐
3. Cocher parmi les propositions suivantes celles qui sont vraies :
- a. Le cristallin est une lentille biconcave d'une puissance de 20 dioptries. ☐
 - b. La macula assure l'acuité visuelle. ☐
 - c. L'iris est percé d'un orifice central appelé la pupille. ☐
 - d. L'uvée est composée de la choroïde, du corps ciliaire et de l'iris. ☐
 - e. Le vitré est un gel opaque qui remplit la partie postérieure du globe oculaire. ☐
4. Les cellules suivantes sont-elles présentes au sein de l'épiderme ? (cocher la ou les bonnes réponses)
- a. Fibroblastes. ☐
 - b. Kératinocytes. ☐
 - c. Cellules de Merkel. ☐
 - d. Mélanocytes. ☐
 - e. Cellules de Langerhans. ☐
 - f. Adipocytes. ☐

Hidden page

8. Quels sont les éléments anatomiques qui font partie de l'oreille interne? (cocher la ou les bonnes réponses)
- a. Le vestibule (sacculé et utricule). ☐
 - b. L'organe de Corti. ☐
 - c. La trompe d'Eustache. ☐
 - d. Le labyrinthe membraneux. ☐
 - e. L'enclume. ☐
9. Le méat moyen draine (cocher la ou les bonnes réponses) :
- a. Le sinus sphénoïdal. ☐
 - b. Le sinus maxillaire. ☐
 - c. Le sinus frontal. ☐
 - d. Le sinus ethmoïdal antérieur. ☐
 - e. Le sinus ethmoïdal postérieur. ☐
10. Annoter le schéma suivant du larynx :



PHYSIOLOGIE

1. L'humeur aqueuse (cocher la ou les bonnes réponses) :
- a. Est sécrétée par le cristallin. ☐
 - b. Passe de la chambre postérieure à la chambre antérieure par la pupille. ☐
 - c. Est évacuée dans l'angle irido cornéen. ☐
 - d. Occupe l'espace situé entre la cornée et le cristallin. ☐
 - e. Lorsqu'elle ne s'évacue pas, elle est responsable de la cataracte. ☐
2. L'épiderme est (cocher la ou les bonnes réponses) :
- a. Un épithélium. ☐
 - b. En constant renouvellement. ☐
 - c. Vascularisé. ☐
 - d. Innervé. ☐
 - e. Un tissu qui se différencie de la profondeur vers la superficie. ☐
3. Citer les six principaux rôles de la peau.
4. Le système naso-sinusal a plusieurs fonctions physiologiques. Quelles sont-elles? (cocher la ou les bonnes réponses)
- a. Filtration de l'air. ☐
 - b. Reconnaissance des sensations acides. ☐
 - c. Reconnaissance de l'arôme. ☐
 - d. Reconnaissance des molécules odoriférantes. ☐
 - e. Humidification et réchauffement de l'air. ☐
5. Citer les deux types de photorécepteurs contenus dans la rétine, ainsi que leurs rôles respectifs.
6. Quels sont les trois systèmes sensoriels qui assurent l'équilibre?

CORRIGÉS, p. 249

Système endocrinien

ANATOMIE

1. À quel niveau vertébral sont situées les glandes surrénales?
2. Quels sont les dimensions et le poids d'une glande thyroïde normale?
3. Citer les deux principaux organes qui risquent d'être lésés au cours d'une intervention chirurgicale sur la thyroïde.
4. Quelles sont les deux principales hormones sécrétées par la glande thyroïde?
5. Quel est le rapport anatomique de l'hypophyse le plus important lorsqu'il existe une tumeur de la glande?
6. Annoter le schéma suivant.

Hidden page

Hidden page

2. Les trompes présentent quatre parties (cocher la ou les bonnes réponses) :

- a. Les caroncules. ☐
- b. Le pavillon. ☐
- c. L'ampoule. ☐
- d. L'isthme. ☐
- e. L'aponévrose. ☐
- f. La portion interstitielle. ☐

3. Le sein est composé de trois éléments anatomiques (cocher la ou les bonnes réponses) :

- a. La glande mammaire. ☐
- b. Le muscle mammaire. ☐
- c. Le tissu fibreux. ☐
- d. Le tissu adipeux. ☐
- e. L'albuginée. ☐

PHYSIOLOGIE

1. À propos du cycle menstruel (cocher la ou les bonnes réponses) :

- a. Le premier jour du cycle correspond au dernier jour des règles. ☐
- b. La durée d'un cycle est de 28 jours. ☐
- c. L'âge de la ménarche se situe entre 10 et 16 ans. ☐
- d. La ménopause correspond à l'apparition des bouffées de chaleur. ☐
- e. Les menstruations sont appelées dyspareunies. ☐

2. Les annexes fœtales : décrire rapidement le rôle et l'anatomie du cordon ombilical. ...

3. Mme B., 70 ans, se présente en consultation avec la sensation de boule au niveau du périnée. Il s'agit d'un prolapsus complet extériorisé.

- a. Quel est à votre avis probablement l'organe médian intéressé dans ce prolapsus ?
- b. Quels sont les 3 ligaments défectueux expliquant ce prolapsus ?
- c. Quel est l'organe situé en avant au niveau du périnée pouvant être intéressé par ce prolapsus ?
- d. Une hystérectomie totale voie basse est réalisée avec une annexectomie droite : quels sont les organes pelviens qui ont été retirés ?

4. Une patiente âgée de 30 ans, accouche à domicile. Après clampage du cordon ombilical, la délivrance se fait naturellement.

- a. Juste avant d'accoucher la patiente a perdu les eaux, de quel liquide s'agit-il ?
- b. Quels sont les éléments que vous examinez sur la face maternelle du placenta pour vous assurer que le placenta est complet ?
- c. Combien d'artères et de veines devez-vous retrouver au niveau du cordon ?

CORRIGÉS, p. 251-252

Hidden page

Corrigés

La cellule : unité de vie

STRUCTURE

Citer trois organites intracellulaires et dire leur fonction.

Réponses possibles :

- Le réticulum endoplasmique : synthèse et stockage des protéines et lipides.
- L'appareil de Golgi : stockage, maturation des protéines. Processus de sécrétion.
- Les ribosomes : synthèse protéique.

- Les mitochondries : fournisseurs d'énergie.
- Les lysosomes : digestion de produits de la phagocytose.
- Les vacuoles : enferment les substances stockées par les cellules.

PHYSIOLOGIE

Quelles sont les quatre bases constitutives de l'ADN ?

Réponse : l'adénosine, la cytosine, la thymidine et la guanine.

Squelette et système locomoteur

ANATOMIE

1. Énumérer les structures qui constituent une articulation mobile (diarthrose) comme le genou et indiquer leur rôle essentiel.

Ces structures sont les suivantes :

- le cartilage articulaire, qui recouvre les extrémités osseuses et permet le glissement des surfaces au contact, et les ménisques qui améliorent la congruence articulaire ;
- la capsule articulaire, renforcée par des ligaments, qui maintient en contact les deux os ;
- la membrane synoviale, qui recouvre l'intérieur de la capsule et délimite la cavité articulaire là où elle sécrète le liquide synovial.

2. Annoter le schéma d'une coupe de l'axe vertébral à la hauteur du corps de la 5^e vertèbre lombaire (L5).

1. Corps de la vertèbre L5. 2. Articulation interapophysaire L4-L5. 3. Ligament jaune. 4. Arc postérieur de la vertèbre L4. 5. Espace épidual ou péri-dural. 6. Racine L5. 7. Dure-mère. 8. Espace intradural ou sous-arachnoïdien (contenant le LCR et les racines de la queue de cheval).

3. Au niveau de quelle vertèbre et comment se termine la moelle épinière ?

La moelle épinière se termine à la hauteur de la 2^e vertèbre lombaire, par une partie rétrécie appelée

le cône terminal ; elle est prolongée par le *filum terminal*, qui forme avec les dernières racines lombaires et sacrées la « queue de cheval ».

PHYSIOLOGIE

1. À quoi sert le cartilage de conjugaison ?

Le cartilage de conjugaison est responsable de l'accroissement en longueur des os.

2. Indiquer sommairement le rôle essentiel sur le tissu osseux de :

- L'hormone parathyroïdienne : elle est responsable de la résorption osseuse par les ostéoclastes.
- La thyrocalcitonine : elle freine la résorption osseuse (utilisation thérapeutique).
- L'hormone somatotrope hypophysaire : elle stimule la croissance en longueur et en épaisseur des os.
- Les hormones surrénaliennes et les médicaments dérivés de la cortisone : ils freinent la construction osseuse et ralentissent la croissance chez le jeune.
- La carence œstrogénique : elle suit la ménopause et favorise la déminéralisation squelettique.
- La vitamine D : elle entraîne une calcification rapide du tissu ostéoïde (tissu « pré-osseux ») et elle exalte aussi la résorption osseuse.
- Le THS, en comprenant la carence œstrogénique post-ménopausique, freine la déminéralisation squelettique.

Hidden page

ment être calculée de manière non invasive par échographie cardiaque bidimensionnelle par voie apicale.

Les valeurs moyennes chez l'adulte sont : débit cardiaque = 5 à 6 L/min, fraction d'éjection ventriculaire gauche = 55 à 65 %.

Système respiratoire

ANATOMIE

1. Une dysphonie peut être la conséquence d'une paralysie d'une corde vocale. Quel est le nerf en cause ?

Réponse : b.

2. Parmi les muscles suivants, quel est celui qui est le plus important pour la respiration ?

Réponse : d.

3. Compléter le schéma suivant ; nommer les organes dessinés.

1. Larynx. 2. Poumon. 3. Scissure. 4. Foie.
5. Trachée. 6. Clavicule. 7. Omoplate (Scapula).
8. Sternum. 9. Côtes. 10. Cœur. 11. Plèvre. 12. Cul-de-sac pleural. 13. Estomac. 14. Duodénum.

PHYSIOLOGIE

1. Chez un malade souffrant d'une bronchite chronique avec emphysème, une hypoxémie est possible. Quel est le mécanisme le plus important et le plus souvent en cause ?

Réponse : b.

2. Lors d'un exercice musculaire, citer les trois systèmes physiologiques qui sont mis en jeu.

Réponses : les systèmes respiratoire, cardio-vasculaire et musculaire.

3. Un homme, âgé de 65 ans, éthylotabagique, souffre d'un cancer de l'œsophage.

- a. Quelle est la structure respiratoire qui sera envahie en premier lors de l'augmentation de la taille de la tumeur ?

- b. Quels sont les symptômes que peut rapporter le malade ?

Réponse :

- la bronche principale gauche.
- Toux par envahissement de la bronche ; puis dyspnée si atelectasie pulmonaire gauche en raison de l'obstruction complète de la bronche.

4. Un homme âgé de 56 ans a subi, il y a un an, une pneumonectomie gauche pour cancer bronchique (dû au tabac) localisé. Aucun traitement complémentaire n'a été nécessaire. Il vous dit que depuis son opération, il est essoufflé à l'effort. Quelles explications pouvez-vous lui donner ?

Réponse :

- un déconditionnement est fort probable ;
 - une éventuelle obésité est à envisager ;
 - si l'intoxication tabagique persiste, l'obstruction bronchique s'est probablement aggravée ;
 - de toute façon, il doit consulter un spécialiste pour une évaluation complète.
5. Quelles peuvent être les conséquences d'une émotion forte sur le plan ventilatoire ?

Réponse : une hyperventilation, qui entraîne une hypocapnie et donc une alcalose respiratoire ; une sensation vertigineuse est fréquemment ressentie par le malade.

Systeme digestif

ANATOMIE

1. Annoter le schéma suivant de l'œsophage.
1. C4. 2. D4. 3. D10. 4. Langue. 5. Larynx.
6. Trachée. 7. Œsophage. 8. Aorte. 9. Artère pulmonaire. 10. Veine cave supérieure. 11. Cœur.
12. Ventricule droit. 13. Veine cave inférieure.
14. Diaphragme. 15. Estomac (grosse tubérosité).
16. Aorte abdominale.

2. Concernant la vascularisation du foie :

Réponses : a, c et d.

NB : question a : le sang qui arrive au foie provient :

- de la veine porte (75 %), qui apporte du sang veineux provenant de l'ensemble du tube digestif et qui véhicule les nutriments absorbés.
- de l'artère hépatique (25 %), qui apporte le sang oxygéné.

Question b : le drainage se fait par les veines sus-hépatiques.

3. Quels sont les organes situés en totalité sous le diaphragme ?

Réponses : b, c, d et e.

NB : question a : la majeure portion de l'œsophage est située dans le thorax (donc sus-diaphragmatique) ; seule son extrémité inférieure est sous-diaphragmatique.

PHYSIOLOGIE

1. Concernant la digestion :

Réponses : a, d et e.

NB : a. oui, l'amylase salivaire (ou ptyaline) transforme l'amidon et le glycogène en maltose.

- b. aucun aliment n'est absorbé dans l'estomac.
- c. non, c'est l'intestin grêle ; le côlon a surtout la fonction de former et stocker les selles pour avoir des déchets en quantité limitée.
- e. la bile est déversée dans le duodénum et permet de digérer les graisses en les solubilisant.

2. Résumer en quelques lignes les fonctions des différents organes du tube digestif : bouche, œsophage, estomac, pancréas exocrine, foie, vésicule biliaire, intestin grêle, côlon.

- La bouche a une double fonction. Sa fonction mécanique est la mastication pour permettre la déglutition. Sa fonction chimique est l'insaliva-

tion, c'est-à-dire l'imprégnation des aliments par la salive. Comme la salive comporte dans sa composition de l'amylase, la digestion des glucides commence dans la bouche (transformation de l'amidon et du glycogène en maltose).

- L'œsophage a uniquement une fonction mécanique. Il permet au bol alimentaire de transiter de la bouche vers l'estomac.
- L'estomac a une double fonction. Sa fonction mécanique est de broyer, brasser, malaxer et homogénéiser le bol alimentaire en le mélangeant au suc gastrique. Les contractions entraînent les aliments de l'estomac « proximal » vers l'estomac « distal ». Les fonctions chimiques de l'estomac sont la bactéricidie, liée à l'acidité gastrique, et le début de la digestion des protéines grâce aux pepsines. L'estomac sécrète également le facteur intrinsèque indispensable à l'absorption de la vitamine B₁₂.
- Le pancréas exocrine a uniquement une fonction chimique. Le pancréas est une double glande, à la fois endocrine et exocrine. Seule la fonction exocrine est utile à la digestion. Le suc pancréatique sécrété comporte :
 - des enzymes protéolytiques pour la digestion des protides ; les polypeptides sont coupés en peptides,
 - de l'amylase pour la digestion des glucides ; les polysaccharides sont transformés en disaccharides et en doses absorbables,
 - des enzymes lipolytiques, la lipase notamment, qui transforment les triglycérides en monoglycérides et en acides gras libres absorbables.
- Le foie synthétise la bile. La bile est déversée dans le duodénum et permet de digérer les graisses en les solubilisant. De plus, en émulsifiant le chyme d'origine gastrique, elle favorise l'action des enzymes pancréatiques. La bile permet aussi l'excrétion de produits de dégradation de l'organisme (cholestérol, bilirubine, cuivre, etc.). Le foie synthétise de nombreuses protéines de l'organisme (albumine, facteurs de coagulation, etc.). Il est le lieu de stockage des glucides (réserves énergétiques). Il est également le lieu de métabolisme de nombreux médicaments. Il n'a aucune action mécanique dans la digestion.

Hidden page

4. Quelle est la proportion du débit cardiaque destinée aux reins? Donner une estimation de la quantité totale de sang qui traverse les reins chaque jour.
Un quart du débit cardiaque, soit environ 1 700 litres de sang par jour, est destiné aux reins.
5. Définir la fonction du glomérule rénal.
Le glomérule rénal est une chambre de filtration où se forme l'urine primitive, ultrafiltrat du plasma filtré à travers les capillaires glomérulaires.
6. Quelle est la quantité d'urine primitive (= débit de filtration glomérulaire) formée par minute et par jour?
La quantité d'urine primitive formée est de 120 millilitres par minute, soit environ 180 litres par jour.

7. Définir la fonction du tubule rénal.

Le tubule rénal réabsorbe l'eau et différents solutés et électrolytes (urée, NaCl, potassium, bicarbonates, calcium), et sécrète également certains de ces solutés (acide urique, potassium, ions H^+), afin d'adapter la composition de l'urine émise aux apports et aux pertes pour maintenir constante la composition des liquides de l'organisme.

8. Quelles sont les autres fonctions des reins, non directement en relation avec la formation de l'urine?

Réponses : a, c et d.

Système nerveux

ANATOMIE

1. Combien dénombre-t-on de racines nerveuses cervicales, dorsales, lombaires et sacrées?
Réponse : 8 cervicales, 12 dorsales, 5 lombaires et 5 sacrées.
2. Annoter le schéma suivant d'une coupe frontale du cerveau : les thalamus et les noyaux gris centraux.
1. Grande scissure interhémisphérique. 2. Cortex. 3. Substance blanche. 4. Capsule interne. 5. Thalamus. 6. Noyaux lenticulaires (Noyaux lentiformes). 7. 3^e ventricule. 8. Noyaux rouges. 9. Locus niger : substance noire (Substantia nigra). 10. Lobe temporal. 11. Vallée sylvienne. 12. Pallidum. 13. Putamen. 14. Noyaux caudés. 15. Ventricules latéraux. 16. Corps calleux. 17. Lobe pariétal.
3. Quels sont les 4 lobes cérébraux?
Réponse : le lobe frontal, pariétal, temporal et occipital.

PHYSIOLOGIE

1. Décrire les grands systèmes intervenant dans l'équilibre.
Le maintien de l'équilibre lors de la station debout et lors des mouvements met en jeu un système effecteur et trois systèmes d'afférences : visuelles, proprioceptives et vestibulaires. Le système visuel donne des informations visuelles quant à l'environnement et à la position du corps dans cet environnement. Le système lemniscal, en particulier la proprioception, renseigne sur la position des articulations et des différents segments de membres les uns par rapport aux autres. Le système vestibulaire transmet les informations à propos de la position de la tête et du cou. Le système

effecteur moteur est régulé en permanence et de manière inconsciente par ces différentes afférences. Le système efférent extra-pyramidal comporte le système cérébelleux et le système nigro-strié.

2. La conduction de l'influx le long d'une fibre nerveuse :
Réponses : b, c.

3. Le système nerveux central :

Réponses : b, c et e.

NB : les oligodendrocytes sont situés dans la substance blanche, et synthétisent la myéline.

4. Annoter le schéma suivant des voies de la sensibilité lemniscale.

1. Cortex sensitif pariétal. 2. 3^e neurone de la sensibilité thermoalgique. 3. Tractus spino-thalamique latéral (température, douleur) ou néo-spino-thalamique. 4. Thalamus. 5. Tractus spino-thalamique antérieur (tact grossier) ou spino-réticulo-thalamique. 6. Relais au niveau de la corne postérieure. 7. Neurone périphérique. 8. Décussation du second neurone au niveau médullaire.

5. Quelles sont les conséquences d'une embolie dans l'artère cérébrale moyenne ou artère sylvienne?

Réponse : un infarctus dans le territoire cérébral vascularisé par l'artère sylvienne : une grande partie du cortex frontal, du cortex pariétal, du cortex temporal, la capsule interne, le noyau lenticulaire. Les conséquences cliniques sont un déficit moteur et sensitif de l'hémicorps controlatéral et des troubles neuro-psychologiques selon le côté atteint (chez le droitier, aphasie si AVC gauche, apraxie si AVC droit).

Hidden page

4. Le système naso-sinusien a plusieurs fonctions physiologiques. Quelles sont-elles ?

Réponses : a, c, d et e.

5. Citer les deux types de photorécepteurs contenus dans la rétine, ainsi que leurs rôles respectifs.

On distingue deux types de photorécepteurs : les cônes (responsables de la vision diurne et de la vision des détails et des couleurs), et les bâtonnets (utilisés pour la vision dans l'obscurité).

6. Quels sont les trois systèmes sensoriels qui assurent l'équilibre ?

Réponses :

- le système vestibulaire périphérique (vestibule, canaux semi-circulaires, nerf vestibulaire) et central;
- le système proprioceptif (repérage de la position des membres dans l'espace);
- la vision.

Système endocrinien

ANATOMIE

1. À quel niveau vertébral sont situées les glandes surrénales ?

Réponse : au niveau des 12^e vertèbres dorsales.

2. Quels sont les dimensions et le poids d'une glande thyroïde normale ?

Réponse : 6 cm de haut, 6 cm de large, 1,5 cm d'épaisseur. 12 à 15 g, suivant la taille et le sexe.

3. Citer les deux principaux organes qui risquent d'être lésés au cours d'une intervention chirurgicale sur la thyroïde.

Réponse : les glandes parathyroïdes et les nerfs récurrents.

4. Quelles sont les deux principales hormones sécrétées par la glande thyroïde ?

Réponse :

- la tétraiodothyronine, ou thyroxine ou T_4 .
- la triiodothyronine, ou T_3 .

5. Quel est le rapport anatomique de l'hypophyse le plus important lorsqu'il existe une tumeur de la glande ?

Réponse : le chiasma optique.

PHYSIOLOGIE

1. Quelles sont les hormones produites par l'antéhypophyse ?

Réponse :

- GH : hormone de croissance.
- FSH : hormone folliculo-stimulante.
- LH : hormone lutéostimulante.
- TSH : hormone thyro-stimulante.
- PRL : prolactine.
- ACTH : hormone corticotrope.

2. Quelle quantité de glucose produit le foie en 24 heures (même à l'état de jeûne) ?

Réponse : environ 2 mg/kg/min, soit 250 à 300 g/24h.

3. Quels sont les effets de la parathormone (PTH) sur l'intestin, le rein et l'os qui expliquent l'effet hypercalcémiant de l'hormone ?

Réponse :

- sur l'intestin : augmentation de l'action de la vitamine D,
- sur le rein : augmentation de la réabsorption calcique,
- sur l'os : augmentation de la résorption (destruction) osseuse.

4. Quelle est (quelles sont) l'hormone (ou les hormones) qui provoque(nt) l'hypoglycémie ?

Réponse : L'insuline.

Sang et système immunitaire

ANATOMIE

1. Les cellules sanguines produites dans la moelle osseuse sont de trois catégories :
 - a. Les globules rouges ou hématies ou érythrocytes.
 - b. Les globules blancs ou leucocytes.
 - c. Les plaquettes.

Préciser leur rôle en notant la lettre correspondant à la réponse exacte :

- Transportent l'hémoglobine : a.
- Jouent un rôle dans la coagulation : c.
- Interviennent dans la défense de l'organisme : b.

2. Le système lymphatique est constitué de :

Réponses : a, b et c.

3. Compléter le schéma du système lymphatique.

1. Végétations. 2. Amygdales. 3. Veine sous-clavière gauche. 4. Thymus. 5. Côlon. 6. Appendice. 7. Lymphatiques tissulaires. 8. Ganglions lymphatiques. 9. Canal thoracique. 10. Rate. 11. Intestin grêle. 12. Plaques de Peyer. 13. Moelle osseuse.

PHYSIOLOGIE

1. La maturation des hématies se caractérise par :

Réponses : a, b, c, e et f.

2. La durée de vie des cellules :

- a. Hématies : 60 jours.
- b. Granulocytes : 10 jours.
- c. Plaquettes : 3 à 4 jours.

3. Citer les trois temps de l'hémostase et les examens permettant de l'explorer.

Réponses :

- a. Hémostase primaire :
 - temps de saignement (méthode d'Ivy),
 - numération plaquettaire.
- b. Coagulation sanguine :
 - temps de Quick,
 - temps de céphaline-kaolin.
- c. Fibrinolyse :
 - fibrinogène,
 - produits de dégradation de la fibrine (PDF).

4. Une jeune fille présente une douleur dans l'aisselle droite où existe une tuméfaction inflammatoire évoquant une adénopathie. Quelle peut en être l'origine ?

Réponses : l'inspection du membre supérieur dont la lymphe se draine dans les ganglions de l'aisselle permet d'observer des traces de griffures de chat faisant évoquer une maladie des griffes du chat.

Appareil reproducteur

ANATOMIE

1. Annoter le schéma suivant du périnée et des organes pelviens chez la femme.

1. Ligament lombo-ovarien. 2. Utérus. 3. Ligament rond. 4. Vessie. 5. Symphyse pubienne. 6. Ligament transverse. 7. Aponévrose transverse. 8. Ligament sacro-recto-génito-pubien (*Fascia sacro-recto-génito-pubien*). 9. Raphé anococcygien (*Ligament ano-coccygien*). 10. Muscle élévateur de l'anus. 11. Sphincter externe de l'anus. 12. Noyau fibreux central du périnée (*Centre tendineux du périnée*).

2. Les trompes présentent quatre parties :

Réponses : b, c, d et f.

NB : pour plus de précisions, voir Nouveau cahier de l'infirmière n° 22 Gynécologie-Obstétrique, par É. CAMUS, 2006, 4^e édition.

3. Le sein est composé de trois éléments anatomiques :

Réponses : a, c et d.

NB : pour plus de précisions, voir *op. cit.*, p. 31.

PHYSIOLOGIE

1. À propos du cycle menstruel :

Réponses : b, c.

NB : pour plus de précisions, voir *op. cit.*, p. 35.

2. Les annexes fœtales : décrire rapidement le rôle et l'anatomie du cordon ombilical.

Le cordon ombilical résulte de l'allongement du pédicule embryonnaire. Il s'insère sur la face fœtale. À terme il comporte deux artères ombilicales qui amènent le sang désaturé du fœtus au placenta, et une veine ombilicale qui apporte le sang oxygéné du placenta au fœtus.

NB : pour plus de précisions, voir *op. cit.*, p. 43.

3. Mme B., 70 ans, se présente en consultation avec la sensation de boule au niveau du périnée. Il s'agit d'un prolapsus complet extériorisé.

- Quel est à votre avis probablement l'organe médian intéressé dans ce prolapsus ?
- Quels sont les 3 ligaments défectueux expliquant ce prolapsus ?
- Quel est l'organe situé en avant au niveau du périnée pouvant être intéressé par ce prolapsus ?

- Une hystérectomie totale voie basse est réalisée avec une annexectomie droite : quels sont les organes pelviens qui ont été retirés ?

Réponses :

- L'utérus.
- Les ligaments utéro-sacrés, les ligaments ronds et les ligaments larges.
- La vessie.
- L'utérus et le col de l'utérus, l'ovaire droit et la trompe droite. (Voir aussi pages 209-210.)

4. Une patiente âgée de 30 ans, accouche à domicile. Après clampage du cordon ombilical, la délivrance se fait naturellement.

- Juste avant d'accoucher la patiente a perdu les eaux, de quel liquide s'agit-il ?
- Quels sont les éléments que vous examinez sur la face maternelle du placenta pour vous assurer que le placenta est complet ?
- Combien d'artères et de veines devez-vous retrouver au niveau du cordon ?

Réponses :

- Le liquide amniotique.
- Les cotylédons.
- Deux artères ombilicales et une veine ombilicale. (Voir aussi page 225.)

Table de correspondance

Ancienne nomenclature	Nouvelle nomenclature
Aileron rotulien externe	Rétinaculum patellaire latéral
Aileron rotulien interne	Rétinaculum patellaire médial
Amygdale cérébelleuse	Noyau amygdalien
Amygdale palatine	Tonsille palatine
Angle du pubis	Corps du pubis
Aponévrose cervicale moyenne	Fascia cervical moyen
Aponévrose cervicale superficielle	Fascia cervical superficiel
Aponévrose prépectorale	Fascia superficialis
Aponévrose prostatopéritonéale de Denonvilliers	Fascia péritonéo-périnéal
Apophyse articulaire inférieure	Processus articulaire inférieur
Apophyse articulaire supérieure	Processus articulaire supérieur
Apophyse coronoïde	Processus coronoïde
Apophyse épineuse	Processus épineux
Apophyse transverse	Processus transverse
Aqueduc de Sylvius	Aqueduc du mésencéphale / Aqueduc cérébral
Arcade crurale	Ligament inguinal
Arrière-fond du cotyle	Fosse acétabulaire
Artère carotide primitive	Artère carotide commune
Artère coronaire stomachique	Artère gastrique gauche
Artère cubitale	Artère ulnaire
Artère humérale	Artère brachiale
Artère humérale profonde	Artère brachiale profonde
Artère iliaque primitive	Artère iliaque commune
Artère mammaire externe	Artère thoracique externe
Artère mammaire interne	Artère thoracique interne
Artère pédieuse	Artère dorsale du pied
Artère péronière	Artère fibulaire
Artère sous-clavière	Artère subclavière
Artère surrénale supérieure	Artère suprarénale supérieure
Articulation astragalo-calcanéenne	Articulation subtalaire
Astragale	Talus
Bandelette optique	Tractus optique
Bassinnet	Pelvis rénal
Bourrelet	Labrum
Bourrelet cotyloïdien	Labrum acétabulaire
Bourse séreuse	Bourse synoviale
Branche marginale droite de la coronaire	Artère atriale antérieure
Bulbe	Moelle allongée / Bulbe
Calcanéum	Calcanéus
Caisse du tympan	Cavité tympanique
Canal cholédoque	Conduit cholédoque
Canal cystique	Conduit cystique
Canal de Wirsung	Conduit pancréatique

Hidden page

Hidden page

Ancienne nomenclature	Nouvelle nomenclature
Muscle biceps crural	Muscle biceps fémoral
Muscle couturier	Muscle sartorius
Muscle cubital antérieur	Muscle fléchisseur ulnaire du carpe
Muscle cubital postérieur	Muscle extenseur ulnaire du carpe
Muscle droit antérieur	Muscle droit fémoral
Muscle droit externe	Muscle droit latéral
Muscle droit interne	Muscle droit médial
Muscle extenseur commun	Muscle long extenseur des orteils
Muscle extenseur propre du gros orteil	Muscle long extenseur de l'hallux
Muscle fascia lata	Muscle tenseur du fascia lata
Muscle fléchisseur commun	Muscle long fléchisseur des orteils
Muscle fléchisseur propre du gros orteil	Muscle long fléchisseur de l'hallux
Muscle grand dentelé	Muscle dentelé antérieur
Muscle grand droit	Muscle droit
Muscle grand oblique	Muscle oblique supérieur
Muscle grand oblique de l'abdomen	Muscle oblique externe de l'abdomen
Muscle grand palmaire	Muscle fléchisseur radial du carpe
Muscle jambier antérieur	Muscle tibial antérieur
Muscle jumeau	Muscle gastrocnémien
Muscle jumeau externe	Muscle gastrocnémien latéral
Muscle jumeau interne	Muscle gastrocnémien médial
Muscle long péronier latéral	Muscle long fibulaire
Muscle orbiculaire des lèvres	Muscle orbiculaire de la bouche
Muscle pédieux	Muscle court extenseur des orteils
Muscle petit oblique	Muscle petit oblique inférieur
Muscle plantaire externe	Muscle plantaire latéral
Muscle plantaire interne	Muscle plantaire médial
Muscle radial externe	Muscle long extenseur radial du carpe
Muscle sous-clavier	Muscle subclavier
Muscle vaste externe	Muscle vaste latéral
Muscle vaste interne	Muscle vaste médial
Muscles péroniers latéraux	Muscles fibulaires
Nerf accessoire du brachial cutané interne	Nerf cutané médial du bras
Nerf brachial cutané interne	Nerf cutané médial de l'avant-bras
Nerf circonflexe	Nerf axillaire
Nerf crural	Nerf fémoral
Nerf cubital	Nerf ulnaire
Nerf fémoro-cutané	Nerf cutané latéral de la cuisse
Nerf grand sciatique	Nerf sciatique
Nerf petit sciatique	Nerf glutéal inférieur
Nerf rachidien	Nerf spinal
Nerf sciatique poplité externe (SPE)	Nerf fibulaire commun
Nerf sciatique poplité interne (SPI)	Nerf tibial
Nerfs rachidiens dorsaux	Nerf rachidiens thoraciques
Noyau lenticulaire	Noyau lentiforme
Omoplate	Scapula
Oreillette	Atrium

Ancienne nomenclature	Nouvelle nomenclature
Oreillette droite (OD)	Atrium droit
Oreillette gauche (OG)	Atrium gauche
Organe de Corti	Organe spiral
Orifice de la trompe d'Eustache	Orifice de la trompe auditive
Orifice du canal de la glande de Bartholin	Orifice du canal excréteur de la glande vestibulaire
Os crochu	Hamatum
Os iliaque	Os coxal
Os propre du nez	Os nasal
Péroné	Fibula
Petit calice	Calice mineur
Petit épiploon	Petit omentum
Petite cavité sigmoïde	Incisure radiale de l'ulna
Petite valve mitrale	Cuspide gauche de la valve atrio-ventriculaire gauche
Plateaux tibiaux	Condyles tibiaux
Poulie astragaliennne	Poulie talaire
Premier duodénum	Partie supérieure du duodénum
Pyramidal	Triquetrum
Quatrième duodénum	Partie ascendante du duodénum
Racine antérieure	Racine ventrale
Racine postérieure	Racine dorsale
Raphé ano-coccygien	Ligament ano-coccygien
Rotule	Patella
Scaphoïde du tarse	Os naviculaire
Scissure calcarine	Sillon calcarin
Scissure de Sylvius	Sillon latéral
Semi-lunaire	Lunatum
Septum interauriculaire	Septum inter-atrial
Sigmoïde antérieure droite	Valvule antérieure droite
Sigmoïde postérieure	Valvule postérieure
Sigmoïdes aortiques	Valvules aortiques
Sillon de Rolando	Sillon central
Sinus latéral	Sinus sigmoïde
Sourcil cotyloïdien	Limbus acétabulaire
Sus épineux	Supon épineux
Tendon d'Achille	Tendon calcanéen
Tendon des péroniers latéraux	Tendon des fibulaires
Tendon du jambier postérieur	Tendon du tibial postérieur
Tendon du muscle droit antérieur	Tendon du muscle droit fémoral
Tendon rotulien	Tendon patellaire
Tête cubitale	Tête ulnaire
Tête du péroné	Tête de la fibula
Triangle lumineux	Cône lumineux
Trochin	Tubercule mineur
Trochiter	Tubercule majeur

Ancienne nomenclature	Nouvelle nomenclature
Trompe d'Eustache	Trompe auditive
Trompe de Fallope	Trompe utérine
Tronc basilaire	Artère basilaire
Tronc lombo-sacré	Tronc lombo-sacral
Trou de conjugaison	Foramen intervertébral
Trou obturateur	Foramen obturé
Tubérosité antérieure du tibia	Tubérosité tibiale
Tubérosité bicipitale	Tubérosité radiale
Valve tricuspide	Valve atrio-ventriculaire droite
Valvule sigmoïde pulmonaire	Valvule du tronc pulmonaire
Valvule d'Eustachi	Valvule de la veine cave inférieure
Valvules sigmoïdes aortiques	Valvules de l'ostium aortique
Veine coronaire stomachique	Veine gastrique droite
Veine cubitale superficielle	Veine ulnaire superficielle
Veine mésentérique inférieure	Petite veine mésentérique
Veine mésentérique supérieure	Grande veine mésentérique
Veine porte	Tronc porte
Veine sous-clavière	Veine subclavière
Veine sus-hépatique droite	Veine hépatique droite
Veine sus-hépatique gauche	Veine hépatique gauche
Veine sus-hépatique sagittale	Veine sagittale

Nouvelle nomenclature	Ancienne nomenclature
Acétabulum	Cotyle
Aqueduc du mésencéphale / aqueduc cérébral	Aqueduc de Sylvius
Artère atriale antérieure	Branche marginale droite de la coronaire
Artère basilaire	Tronc basilaire
Artère brachiale	Artère humérale
Artère brachiale profonde	Artère humérale profonde
Artère carotide commune	Artère carotide primitive
Artère dorsale du pied	Artère pédieuse
Artère fibulaire	Artère péronière
Artère gastrique gauche	Artère coronaire stomachique
Artère iliaque commune	Artère iliaque primitive
Artère subclavière	Artère sous-clavière
Artère supradrénale supérieure	Artère surrénale supérieure
Artère thoracique externe	Artère mammaire externe
Artère thoracique interne	Artère mammaire interne
Artère ulnaire	Artère cubitale
Articulation subtalaire	Articulation astragalo-calcanéenne
Atrium	Oreillette
Atrium droit	Oreillette droite (OD)

Nouvelle nomenclature	Ancienne nomenclature
Atrium gauche	Oreillette gauche (OG)
Bourse synoviale	Bourse séreuse
Bulbe supérieur de la jugulaire	Golfe jugulaire
Calcanéus	Calcanéum
Calice majeur	Grand calice
Calice mineur	Petit calice
Canal central de la moelle spinale	Épendyme
Capitulum	Grand os
Cartilage septal du nez	Cartilage de la cloison nasale
Cavité tympanique	Caisse du tympan
Cérébellum / Cervelet	Cervelet
Col de la fibula	Col du péroné
Conduit cholédoque	Canal cholédoque
Conduit cystique	Canal cystique
Conduit hépatique	Canal hépatique
Conduit hépatique droit	Canal hépatique droit
Conduit hépatique gauche	Canal hépatique gauche
Conduit lacrymo-nasal	Canal lacrymo-nasal
Conduit lactifère	Canal galactophorique
Conduit pancréatique	Canal de Wirsung
Conduit pancréatique	Canal pancréatique
Conduits lacrymaux supérieurs et inférieurs	Canalicules lacrymaux
Conduits lactifères	Canaux galactophoriques
Condyle latéral	Condyle externe
Condyle médial	Condyle interne
Condyles tibiaux	Plateaux tibiaux
Cône lumineux	Triangle lumineux
Corne de la surface semi-lunaire	Corne de la cavité cotyloïdienne
Corps du pubis	Angle du pubis
Crête fibreuse	Crête de Duret
Cuspide droite de la valve atrio-ventriculaire droite	Feuillet antérieur de la tricuspide
Cuspide droite de la valve atrio-ventriculaire gauche	Grande valve mitrale
Cuspide gauche de la valve atrio-ventriculaire droite	Feuillet postérieur de la tricuspide
Cuspide gauche de la valve atrio-ventriculaire gauche	Petite valve mitrale
Cuspide septale de la valve atrio-ventriculaire droite	Feuillet septal de la tricuspide
Épicondyle latéral	Épicondyle
Épicondyle médial	Épitrochlée
Époophoron	Mésovarium
Espace rétro-pubien	Espace de Retzius
Excavation recto-utérine	Cul-de-sac de Douglas
Excavation recto-vésicale	Cul-de-sac recto-vésical
Faisceaux gracile et cunéiforme	Faisceau de Goll et Burdach
Fascia cervical moyen	Aponévrose cervicale moyenne
Fascia cervical superficiel	Aponévrose cervicale superficielle
Fascia péritonéo-périnéal	Aponévrose prostatopéritonéale de Denonvilliers

Nouvelle nomenclature	Ancienne nomenclature
Fascia sacro-recto-génito-pubien	Ligament sacro-recto-génito-pubien
Fascia superficialis	Aponévrose prépectorale
Fenêtre de la cochlée	Fenêtre ronde
Fenêtre du vestibule	Fenêtre ovale
Fibula	Péroné
Foramen intervertébral	Trou de conjugaison
Foramen obturé	Trou obturateur
Foramen vertébral	Canal rachidien
Fosse acétabulaire	Arrière-fond du cotyle
Fosse adipeuse	Loge adipeuse
Fosse infra-épineuse	Fosse sous-épineuse
Fosse intercondyloire	Échancrure intercondylienne
Fosse paravésicale	Cul-de-sac vésico-utérin
Fosse subscapulaire	Fosse sous-scapulaire
Fosse supra-épineuse	Fosse sus-épineuse
Fovéa radiale	Cupule radiale
Frange ovarienne	Frange de Richard
Gaine des fléchisseurs du carpe	Gaine digito-carpienne interne
Glande surrénale droite	Glande surrénale droite
Glande surrénale gauche	Glande surrénale gauche
Glandes para-urétrales	Glande de Skene
Grand omentum	Grand épiploon
Grande incisure sciatique	Grande échancrure sciatique
Grande veine mésentérique	Veine mésentérique supérieure
Hamatum	Os crochu
Incisure radiale de l'ulna	Petite cavité sigmoïde
Incisure trochléaire de l'ulna	Grande cavité sigmoïde du cubitus
Incus	Enclume
Labrum	Bourrelet
Labrum acétabulaire	Bourrelet cotyloïdien
Lens	Cristallin
Ligament ano-coccygien	Raphé ano-coccygien
Ligament collatéral fibulaire	Ligament latéral externe de la malléole
Ligament collatéral tibial	Ligament latéral interne de la malléole
Ligament ilio-fémoral	Ligament de Bertin
Ligament inguinal	Arcade crurale
Ligament longitudinal antérieur du rachis	Ligament vertébral commun antérieur (LVCA)
Ligament longitudinal postérieur du rachis	Ligament vertébral commun postérieur (LVCP)
Ligament tibio-fibulaire	Ligament péronéo-tibial
Ligament tibio-fibulaire antérieur	Ligament péronéo-tibial antérieur
Ligament tibio-fibulaire postérieur	Ligament péronéo-tibial postérieur
Limbus acétabulaire	Sourcil cotyloïdien
Lunatum	Semi-lunaire
Malléole latérale	Malléole externe
Malléole médiale	Malléole interne

Hidden page

Nouvelle nomenclature	Ancienne nomenclature
Nerf fibulaire commun	Nerf sciatique poplité externe (SPE)
Nerf glutéal inférieur	Nerf petit sciatique
Nerf rachidiens thoraciques	Nerfs rachidiens dorsaux
Nerf sciatique	Nerf grand sciatique
Nerf spinal	Nerf rachidien
Nerf tibial	Nerf sciatique poplité interne (SPI)
Nerf ulnaire	Nerf cubital
Nœuds lymphatiques parasternaux	Ganglions de la chaîne mammaire interne
Nœuds lymphatiques sus-claviculaires	Ganglions sus-claviculaires
Noyau amygdalien	Amygdale cérébelleuse
Noyau lentiforme	Noyau lenticulaire
Omentum	Épiploon
Organe spiral	Organe de Corti
Orifice de la trompe auditive	Orifice de la trompe d'Eustache
Orifice du canal excréteur de la glande vestibulaire	Orifice du canal de la glande de Bartholin
Os coxal	Os iliaque
Os nasal	Os propre du nez
Os naviculaire	Scaphoïde du tarse
Partie ascendante du duodénum	Quatrième duodénum
Partie descendante du duodénum	Deuxième duodénum
Partie supérieure du duodénum	Premier duodénum
Patella	Rotule
Pelvis rénal	Bassin
Petit omentum	Petit épiploon
Petite veine mésentérique	Veine mésentérique inférieure
Poulie talaire	Poulie astragalienne
Prépuce du clitoris	Capuchon du clitoris
Processus antérieur du calcaneus	Grande apophyse du calcaneus
Processus articulaire inférieur	Apophyse articulaire inférieure
Processus articulaire supérieur	Apophyse articulaire supérieure
Processus coronoïde	Apophyse coronoïde
Processus épineux	Apophyse épineuse
Processus épineux	Épineuse
Processus transverse	Apophyse transverse
Rachis	Colonne vertébrale
Racine dorsale	Racine postérieure
Racine gauche du conduit hépatique	Convergence biliaire supérieure
Racine ventrale	Racine antérieure
Repli utéro-sacral	Ligament utéro-sacré
Rétinaculum des muscles fléchisseurs du carpe	Ligament annulaire du carpe
Rétinaculum patellaire latéral	Aileron rotulien externe
Rétinaculum patellaire médial	Aileron rotulien interne
Scapula	Omoïde
Septum inter-atrial	Septum interauriculaire
Septum recto-vaginal	Cloison recto-vaginale

Hidden page

Index

A

α -récepteurs 181
 abdomen 87
 abducteurs de la cuisse 41
 ABO 202
 absorption intestinale 119
 acide 8, 166
 – désoxyribonucléique (ADN) 7
 – gras 108
 – ribonucléique (ARN) 8
 – urique 130
 acinus 214
 adducteurs de la cuisse 41
 ADN ou acide désoxyribonucléique 7
 adrénaline 181
 agueusie 166
 albuginée 216
 amer 166
 amphiarthrose 20
 ampoule
 – de Vater 98
 – tubaire 210
 anaphase 14
 anastomoses porto-caves 102
 Andersch (ganglions d') 165
 androgènes 180
 anse de Henle 126
 aorte
 – abdominale 65
 – thoracique 62
 aponévrose 22
 apophyse
 – articulaire 50
 – odontoïde 48
 apoptose 14
 appareil juxtaglomérulaire 126
 appendice 94
 arachnoïde 51
 arcade
 – duodéno-pancréatiques 92, 98
 – de Riordan 93
 aréole 213
 ARN ou acide ribonucléique 8
 artère(s) 96
 – hépatique 102
 – hémorroïdales 96

 – – inférieure 96
 – – moyenne 96
 – – supérieure 96
 – intercostales 65
 – pulmonaire 58
 – thyroïdiennes 190
 articulation 31
 – de l'épaule 31
 – de la main 32
 – du coude 31
 – du pied 40
 – du poignet 31
 – péronéo-tibiale 39
 – sacro-iliaque 50
 astragale 37
 atlas 48
 audition 162
 axis 48

B

β -récepteurs 181
 Bartholin (glandes de) 213
 biceps 41
 – brachial 32
 bile 116
 bilirubine 117
 blastocyte 223
 Bowman (capsule de) 126
 bulbes vestibulaires 213

C

cæcum 93
 caisse du tympan 160
 calcanéum 38
 calcium 19, 106
 canal(aux)
 – anal 95
 – carpien 34
 – cholédoque 104
 – cystique 105
 – de Santorini 98
 – de Wirsung 98
 – déférent 217
 – galactophores 213-214
 – hépatique 104
 – semi-circulaires 161

canalicules biliaires 104
 capacité
 – pulmonaire totale 83
 – vitale 83
 capsule de Bowman 126
 carboxypeptidases 114
 cartilage(s)
 – alaires 153
 – articulaire 21
 – triangulaires 153
 Cell Stimulating Factor 198
 Cellules
 – de Langerhans 168
 – de Merkel 168
 – de Paneth 92
 – de Purkinje 72
 – G 90
 – nodales 71
 – sanguines 195
 centrioles 6
 cervelet 134
 chaîne des osselets 160
 cheveux 169
 choanes 153
 cholestérol 118
 cholestérol-estérase 114
 Chopart (articulation médio-tarsienne de) 40
 choroïde 149
 chromatine 6
 chromosome 12
 chylomicron 121
 clairance du mannitol 128
 clavicule 28
 clitoris 213
 coagulation sanguine 204
 coccyx 48
 cochlée 161
 cœur droit 56
 coiffe des rotateurs 32
 col 209
 côlon 93
 – ascendant 93
 – descendant 93
 – transverse 93
 colonne vertébrale 48
 condyle 38
 coraco-brachial 32

cordon ombilical 225
 coronaire
 – droite 63
 – gauche 63
 corps 218
 – caverneux 218
 – ciliaire 149
 – muqueux de Malpighi 167
 – spongieux 218
 – utérin 208
 Corti (organe de) 161
 crâne 47
 créatinine 130
 crête ampullaire 161
 cristallin 150
 cubitus 29
 cuboïde 38
 cuisse 45
 cul-de-sac dural 51
 cycle menstruel 218
 cytoplasme 5

D

De Graaf (follicule de) 219
 défenses cellulaires 200
 déglutition 111
 déhydroépiandrostérone 180
 delta-4 androstène diol 180
 deltoïde 32
 demi-membraneux 41
 demi-tendineux 41
 dépolarisation 143
 derme 168
 desmosomes 167
 diaphyse 18
 diarthrose 20
 digestion intestinale 119
 1,25-dihydroxycholecalciférol 131, 186
 disques intervertébraux 50
 division cellulaire 11
 duodénum 91
 dure-mère 51
 dysgueusie 166
 dysphonie 80

E

échanges gazeux 84
 ectoblaste 224
 ectopies testiculaires 216
 effet shunt 85
 Ehrenritter (ganglions d') 165

embryogenèse 224
 encéphale 133
 endoblaste 224
 endocarde 54
 endocytose 5
 endolymph 161
 endopeptidases 114
 entérocytes 92
 enzymes
 – amylotiques 114
 – lipolytiques 114
 – protéolytiques 114
 épiderme 167
 épидидyme 217
 épine sciatique 35
 épiphyse 18
 – inférieure 29
 épiploons 97
 équilibre 162
 équilibre acido-basique 129
 érythropoïétine 131
 espace 51
 – épидural 51
 – intradural 51
 – porte 102
 – sous-arachnoïdien 51
 – sous-dural 51
 estomac 89
 excréation de l'eau 129
 exocytose 6
 expiration 83
 extenseur(s)
 – commun des orteils 44
 – de la jambe 41
 – des doigts 33
 – propre du gros orteil 44

F

facteur intrinsèque 112
 faisceau de His 66, 72
 fécondation 221
 fémur 35
 fibres
 – alimentaires 108
 – sensibles 136
 fibrine 205
 fibrinolyse 205
 FiO_2 84, 85
 fléchisseur
 – des doigts 33
 – du pied et des orteils 44
 – propre du gros orteil 44

foie 99
 follicule de De Graaf 219
 fonction motrice 118
 fosses nasales 153
 fraction d'oxygène de l'air inspiré 84

G

gaines synoviales 34
 ganglions 165
 – d'Andersch 165
 – d'Ehrenritter 165
 – lymphatiques 196
 gastrine 112
 gaz
 – carbonique 85
 – du sang 84
 glaire cervicale 220
 gland 218
 glande(s) 170, 179, 213
 – de Bartholin 213
 – de Skene 213
 – sébacées 170
 – sudoripares 170
 – surrénale 179
 – – droite 179
 – – gauche 179
 glomérule 126
 glucides 107
 glucocorticoïdes 180
 glycérides 108
 glycolyse 183
 – aérobie 183
 – anaérobie 183
 Golgi (appareil de) 6
 Goll et Bardach (faisceaux de) 136, 144
 grand dorsal 51
 grand pectoral 32
 grand rond 32
 grand trochanter 36
 grande échancrure sciatique 35
 grande lèvre 211
 granulocytes 200
 groupe(s)
 – iliaque externe 211
 – sanguins 202
 gustation 163

H

hématopoïèse 198
 hémisphères cérébraux 133

hémostase 203
 Henle (anse de) 126
 hépatocytes 102
 humérus 28
 humeur aqueuse 150
 hymen 208
 hypoderme 169
 hypoguesie 166
 hypoventilation alvéolaire 85

I

iléon 91
 îlots de Langerhans 99
 inspiration 83
 interféron gamma 201
 interleukines 198, 201
 intestin grêle 90
 iris 149

J

jambier antérieur 44
 jéjunum 91

K

kératinocytes 167-168

L

labyrinthe
 – membraneux 161
 – osseux 161
 lame criblée de l'ethmoïde 153
 lumina 168
 – densa 168
 – lucida 168
 Langerhans
 – (cellules de) 168
 – (îlots de) 99
 ligament(s) 39, 210
 – croisés 39
 – interosseux 40
 – latéraux 39
 – lombo-ovarien 210
 – rond 38
 – tubo-ovarien 210
 – utéro-ovarien 210
 limbe scléro-cornéen 149
 lipase 114
 lipides 108
 lipoprotéines 121

liquide céphalo-rachidien 136
 Lisfranc (articulation de) 41
 lobe de Spiegel 101
 lobule hépatique 102
 long fléchisseur commun des orteils 44
 lymphocytes 197
 lysosomes 6

M

macrophages 200
 macules 161
 magnésium 106
 Malpighi (corps muqueux de) 167
 mamelon 213
 mastication 110
 mastoïde 161
 méat 154
 – inférieur 154
 – moyen 154
 – supérieur 154
 méiose 14
 mélanocytes 168
 membrane
 – nucléaire 6
 – plasmique 5
 – synoviale 21
 méninges 51, 136
 ménisque 38
 Merkel (cellules de) 168
 mésoblaste 224
 mésos 97
 mésosalpinx 210
 mésovarium 210
 métabolisme du fer 199
 métacarpe 30
 métanéphrines 181
 métaphase 13
 métaphyse 18
 minéralocorticoïdes 180
 mitochondries 6
 mitose 12-13
 moelle épinière 51, 136
 mont de Vénus 212
 Morgagni (tubercules de) 213
 morula 223
 motoneurones 136
 muscles
 – antérieurs 45
 – de l'éminence hypothénar 33
 – de l'éminence thénar 33
 – dentelés 50

– interosseux 33
 – moteurs
 – – de l'avant-bras 32
 – – de la cuisse 41
 – – de la jambe 41
 – – du bras 32
 – – du pied 44
 – – du poignet 32
 – rouges 22
 – spinaux 50
 – tous les autres muscles 45
 myocarde 54

N

narines 153
 nécrose 14
 néphron 127
 nerfs 34
 – circonflexe 35
 – cochléo-vestibulaires
 – – (VIII^e paire crânienne) 161
 – crural 45
 – cubital 35
 – du membre supérieur 34
 – efférents 165
 – grand sciatique 45
 – médian 35
 – musculo-cutané 35
 – rachidiens 139
 – radial 35
 – récurrent gauche 80
 – vestibulaire 163
 neuromédiateur 143
 nidation 223
 nœud
 – auriculo-ventriculaire 66, 72
 – de Keith et Flack 66
 – de Tawara 66, 72
 – sinusal 66
 noradrénaline 181
 noyau(x) 5
 – gris centraux 134
 nucléole 6
 nucléotide 7

O

Oddi (sphincter d') 104
 œsophage 88
 œstrogènes 221
 olfaction 157

Hidden page

talon 38
 tarse 37
 – antérieur 38
 – postérieur 38
 télophase 14
 tendon
 – d'Achille 44-45
 – des releveurs 45
 – et gaines 34
 – rotulien 39
 testicules 216
 thalamus 134
 thyrocalcitonine 186
 thyroglobuline 192
 thyroxine 192
 tibia 36
 tissu 19
 – ostéoïde 19
 – nodal 66
 TNF 201
 traduction 10
 transcription 9
 trapèze 51
 triceps 32
 – brachial 32
 – sural 44
 triiodothyronine 192
 trochiter 32
 trochlée 36, 38
 trompe 210
 – d'Eustache 161
 tronc
 – cérébral 134
 – cœliaque 102

 – spléno-mésaraïque 102
 trou obturateur 35
 tubercules de Morgagni 213
 tubérosité ischiatique 35
 tubes séminifères 217
 tympan 160

U

uretère 124
 urètre 126
 utérus 208
 utricule 161

V

V/Q 84
 vacuoles 6
 vagin 207
 valve
 – aortique 61
 – mitrale 59
 – pulmonaire 58
 vascularisation cérébrale 138
 Vater (ampoule de) 98
 veine(s)
 – cave 56
 – hémorroïdales 96
 – mésentériques 94
 – – inférieure 94, 102
 – – supérieure 94, 101
 – porte 101
 – pulmonaires 58
 – splénique 102
 – sus-hépatiques 102

VEMS 83
 ventilation 82
 ventricule
 – droit 58
 – gauche 54, 61
 verge 218
 vertèbres 48
 – cervicales 48
 – dorsales 48
 – lombaires 48
 – sacrées 48
 vésicule
 – biliaire 105
 – séminales 217
 vessie 125
 vestibule 161-162
 vitamine 109
 – D 20, 33, 38, 44
 – D₁ 186
 vitré 150
 Voies
 – biliaires 104
 – – extrahépatiques 104
 – – intrahépatiques 104
 – – principale 104
 – gustatives centrales 165
 volume courant 83
 vomissements 112
 vulve 211

W

Willis (polygone de) 138
 Wirsung (canal de) 98

Hidden page

407690-(I)-(15)-CSB-G90°-NOC

Elsevier Masson SAS
62, rue Camille Desmoulins
92442 Issy-les-Moulineaux Cedex
Dépôt légal : septembre 2006

Hidden page

NOUVEAUX CAHIERS DE L'INFIRMIERE

Cette **quatrième édition** du cahier n° 27 recouvre le programme du module « Anatomie - Physiologie » du diplôme d'État.

✓ L'anatomie et la physiologie sont les bases fondamentales de la connaissance de l'être humain. Leur apprentissage est parfois ardu du fait de la somme de travail nécessaire pour comprendre ces sciences. Dans cet ouvrage, les auteurs ont essayé de **faciliter l'assimilation des données** en axant la démarche pédagogique sur trois éléments : voir, comprendre et retenir.

- **Voir** : les structures et les organes sont visualisés par des planches aussi proches que possible de la réalité. Un soin tout particulier a été apporté aux figures et aux schémas ; les détails superflus ont été supprimés, mettant en exergue l'essentiel ; le soin apporté aux tracés et l'utilisation de la couleur permettent de bien distinguer les organes et leurs connexions.

- **Comprendre** : la structure et la fonction des différents appareils sont intégrées. Déjà évoquées dans les cahiers consacrés aux modules spécialisés, l'anatomie et la physiologie sont traitées ici plus complètement et en chapitres liés.

- **Retenir** : schémas en couleurs, encadrés, résumés permettent de retenir les éléments essentiels pour les examens et la pratique des soins.

✓ Les auteurs, qui ont participé à l'ensemble de la collection des *Nouveaux cahiers de l'infirmière*, ont voulu que cet ouvrage soit aussi complet et utile qu'agréable à regarder et à lire.

✓ La nouvelle nomenclature française est intégrée dans les schémas avec une table de correspondance en fin d'ouvrage entre l'ancienne et la nouvelle nomenclature.

Et toujours, en fin d'ouvrage : **un cahier d'entraînement**, pour permettre à l'étudiant de vérifier l'assimilation des connaissances sur l'ensemble du programme infirmier d'anatomie et de physiologie.

La collection de référence

- | | | |
|--|--|---|
| 1 Santé publique | 11 Pneumologie | 21 Urgences / Réanimation
Transfusion sanguine |
| 2 Concepts et théories, démarche de soins | 12 Rhumatologie / Orthopédie
Traumatologie | 22 Gynécologie / Obstétrique |
| 3 Démarches relationnelles et éducatives,
initiation et stratégies de recherche | 13 Psychiatrie I. Syndromes et maladies | 23 ORL / Stomatologie
Ophtalmologie |
| 4 Législation, éthique et déontologie,
responsabilité, organisation du travail | 14 Psychiatrie II. Prise en charge | 24 Dermatologie |
| 5 Hygiène | 15 Symptômes et pratique infirmière /
Fiches de soins | 25 Pédiatrie / Pédopsychiatrie |
| 6 Sciences humaines | 16 Néphrologie / Urologie | 26 Pharmacologie |
| 7 Cardiologie | 17 Maladies infectieuses / VIH | 27 Anatomie / Physiologie |
| 8 Endocrinologie | 18 Neurologie | |
| 9 Diabétologie / Affections métaboliques | 19 Cancérologie / Hémopathies | |
| 10 Gastro-entérologie | 20 Gériatrie / Gériopsychiatrie | |

